



**ALEXANDRE DANIEL  
HÉBIL RAMOS**

**UMA ANÁLISE DA HIPÓTESE EKC EM PORTUGAL:  
NOVA EVIDÊNCIA USANDO DADOS SETORIAIS E O  
EFEITO DA INOVAÇÃO**



**ALEXANDRE DANIEL  
HÉBIL RAMOS**

**UMA ANÁLISE DA HIPÓTESE EKC EM PORTUGAL:  
NOVA EVIDÊNCIA USANDO DADOS SETORIAIS E O  
EFEITO DA INOVAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Economia, realizada sob a orientação científica da Doutora Mara Teresa da Silva Madaleno, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro e sob a coorientação científica da Doutora Celeste Amorim Varum, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro.

## **o júri**

presidente

**Prof. Doutor Hugo Casal Figueiredo**

professor auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro

**Prof. Doutora Mónica Alexandra Vilar Ribeiro de Meireles**

professora auxiliar do ISCTE – IUL - Instituto Universitário de Lisboa

**Prof. Doutora Mara Teresa da Silva Madaleno**

professora auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro

## **agradecimentos**

Quero agradecer à Professora Doutora Mara Madaleno, bem como à Professora Doutora Celeste Varum pelas partilhas de conhecimentos, pela ajuda e tempo despendido e pela duradoura paciência ao longo destes meses de orientação.

Não posso deixar de referir o meu agradecimento a todo o corpo docente ligado ao Curso de Economia da Universidade de Aveiro pelo empenho, ajuda e disponibilidade para qualquer momento esclarecer qualquer tipo de dúvida. Quero agradecer a todos os amigos que fiz ao longo destes últimos 5 anos (no verdadeiro sentido da palavra). Sem o apoio de muitos deles hoje não estaria a escrever estas palavras.

Agradecer também a todos os meus amigos de sempre, desde tempos de infância e secundário e que ainda hoje perduram. São, e sempre foram, uma fonte de inspiração e suporte, sobretudo em momentos mais adversos na minha vida. Não precisarei de realçar nenhum nome pois diariamente faço questão de estar e partilhar histórias e pesadelos da minha humilde existência. Agradecer também a quem me permitiu chegar a este ponto da minha vida académica.

Por último, e não menos importantes, agradeço ao meu irmão, por tudo o que foi.

## **palavras-chave**

Curva de Kuznets Ambiental (EKC), Inovação, Dados Panel, Emissões CO<sub>2</sub>, Valor Acrescentado Bruto, Setores, Portugal.

## **resumo**

A presente dissertação contribui para a literatura relacionando as emissões de CO<sub>2</sub> com o comportamento económico dos setores de atividade em Portugal, bem como a relação com proxys ligadas ao desenvolvimento de tecnologia como é o caso da I&D (investigação e desenvolvimento) ou o TPI&D (total de pessoas a trabalhar em I&D). Para isso recorremos a um painel de dados equilibrados das diversas indústrias, entre os anos de 1996 e 2013, analisando deste modo 11 setores de atividade económica em Portugal. Até ao momento, os estudos que têm sido realizados relativos a este tema são, na sua grande maioria, a nível macroeconómico, e muito pouco no quadro sectorial, não existindo conclusões de quais os setores que mais afetam o meio ambiente e/ou aqueles que melhores performances económicas apresentam, no âmbito da hipótese EKC e incluindo o efeito da inovação.

O contributo desta dissertação vem no sentido de colmatar esta lacuna, usando testes dos possíveis efeitos das variáveis no modelo da Hipótese da Curva de Kuznets (hipótese EKC), para os diferentes setores de atividade. Como principais conclusões do nosso estudo, conseguimos observar dois comportamentos diferentes da EKC: o comportamento na forma de “U-invertido” e na forma de “N-Shape”, ambos comportamentos que explicam de forma diferente a relação entre as emissões de dióxido de carbono e o crescimento económico dos setores de atividade, bem como os seus comportamentos no período de tempo analisado. Estes mesmos resultados não só são importantes para futuras pesquisas mas também para a tomada de decisões de ordem política e sectorial, de forma a serem uma fonte de contribuição para a tomada de uma decisão mais correta.

**keywords**

Environmental Kuznets Curve (EKC), Innovation, Panel data, CO<sub>2</sub> Emissions, Gross Value Added, Sectors, Portugal.

**abstract**

The present dissertation contributes to the existent empirical literature by relating CO<sub>2</sub> emissions with economic behavior of activity sectors in Portugal, as well as relating with proxies connected to technological development as is the case of R&D (research and development) or TPR&D (total persons working in R&D). For that we use a balanced panel of data from several industries, between the years 1996 and 2013, analyzing for the effect 11 economic activity sectors in Portugal. Until the present moment, studies which have been realized with respect to this theme are, in the majority, at macroeconomic level, and very few works exist at the sectoral level, where there are no conclusions with respect to which sectors affect more the environment and/or those which show best economic performance in the EKC sense including innovation. The contribution of this dissertation comes in the sense to contribute to this gap decrease using tests of the possible effects of variables in the Kuznets Curve hypothesis (EKC hypothesis), for the different economic activity sectors. As main conclusions of our studies, we were able to observe two different behaviors of the EKC: the inverted U-shaped behavior and the N-shape form, both behaviors which explain in a different way the relationship between carbon dioxide emissions and the economic growth of activity sectors, as well as their behaviors in the time period analyzed. These same results are not just important for future research but are also useful for decision making in both political and sector terms, such that they are a source a contribution for a more correct decision making process.

# Índice

Índice.....	i
Índice Figuras.....	ii
Índice tabelas.....	iii
Lista Acrónimos .....	iv
1. Introdução .....	1
2. Revisão de Literatura .....	5
2.1 Evidências empíricas relativas à EKC .....	5
2.2 A Inovação, crescimento e dano ambiental .....	14
3. Metodologia e Dados .....	19
4. Resultados .....	27
4.1 Resultados das Estatísticas Descritivas.....	27
4.2 Escolhas Entre efeitos Fixos e Efeitos Aleatórios .....	38
5. Conclusão.....	47
Referências .....	49

## Índice Figuras

Figura 1 - Comparação dos rácios I&D/VAB e CO <sub>2</sub> /VAB, entre 2000 e 2013, nos 11 setores de atividade económica de Portugal .....	29
Figura 2 - Comparação dos rácios PI&D/VAB e CO <sub>2</sub> /VAB, entre 2000 e 2013, nos 11 setores de atividade económica de Portugal .....	32
Figura 3 – Comparação dos rácios CE/VAB e CO <sub>2</sub> /VAB, entre 2000 e 2013, nos 11 setores de atividade económica de Portugal .....	35
Figura 4 – Consumo de energia primária, por tipo de fonte, em Portugal .....	42



## Índice tabelas

Tabela 1 – Síntese de Literatura: testes da Hipótese EKC para países, grupo de países ou setores de atividade .....	7
Tabela 2 – Conjunto de Setores de Atividades analisados, entre 1996 e 2013, em Portugal .....	19
Tabela 3 - Conjunto de variáveis e respectivas abreviaturas .....	24
Tabela 4 – Quadro resumo das variáveis testadas.....	27
Tabela 5 – Resultados do teste Breusch – Pagan .....	28
Tabela 6 – Teste Hausman: resultados nos modelos estudados empiricamente .....	38
Tabela 7 – Quadro resumo dos resultados nos diferentes modelos .....	40
Tabela 8 – Quadro resumo dos resultados nos diferentes modelos co efeitos desfasados da inovação.....	45

## **Lista Acrónimos**

ARDL – Modelo Autoregressive Distributed Lag

CE – Consumo de Energia

CO<sub>2</sub> – Emissões de dióxido de carbono

EKC – Hipótese da Curva de Kuznets

GHG – Gases com Efeito de Estufa; Green House Gas Emissions

I&D – Investigação e Desenvolvimento

LN – Logaritmo natural

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

OLS – Ordinary Least Squares

PIB – Produto Interno Bruto

TPI&D – Total de pessoas a trabalhar em Investigação e Desenvolvimento

VAB – Valor Acrescentado Bruto

VAR – Modelo de vetor autorregressivo

VECM – Modelo de vetor de correção de erro vetorial

## 1. Introdução

O estudo da relação entre o crescimento económico e a qualidade ambiental é hoje um tema central na área da economia. Estes estudos surgem no seguimento de preocupações como ‘qual será a herança deixada às gerações futuras?', ou, ‘crescimento implica necessariamente crescente sacrifício de recursos, até à sua exaustão?’. Terá a globalização acentuado o crescimento e, conseqüentemente, levado a uma maior degradação ambiental? Birdsall e Wheeler (1993) referem que, a maior abertura do comércio não está na origem do problema do maior nível de poluição das economias. Contudo, esta maior liberalização tem impacto no meio ambiente e também pode levar a que existam efeitos contraditórios.

O aumento da atividade económica exige, em princípio, mais recursos, e cria, em grande parte das vezes, mais poluição, maior desperdício e conseqüentemente, gera uma maior degradação ambiental (Meadows et al., 2005). Este dilema (entre crescimento e dano ambiental), está na base da hipótese lançada pela Curva de *Kuznets*, homenageando o seu autor – (Kuznets, 1955) - onde se expressa uma possível relação em forma de ‘U invertido’ entre a atividade económica e o meio ambiente, nomeadamente em termos de níveis de poluição. Já no final do século XX, diversos estudos empíricos (Panayotou, 1993; Grossman e Krueger, 1995; Selden e Song, 1995) testaram a existência de uma relação de ‘U invertido’ entre a atividade económica e os estragos causados no ambiente. A Hipótese EKC (*Environmental Kuznets Curve*) defende que, através do crescimento económico é possível resolver o problema da deterioração ambiental. Sugere-se uma correlação positiva entre o crescimento de uma fase mais agrícola para uma fase de maior industrialização e emissão de poluentes (Grossman e Krueger, 1995; Selden e Song, 1995). Ou seja, a qualidade ambiental começa a deteriorar-se numa fase inicial do crescimento/desenvolvimento económico. Mas, sugere-se que, posteriormente, a relação se torna negativa numa fase mais adiantada do processo de crescimento (Dasgupta et al., 2007; Balin e Akan, 2015). Dinda (2004) refere que este efeito (crescimento associado a menos dano ambiental) poderá ocorrer com progresso e desenvolvimento das economias modernas, com a evolução de economias agrárias e industriais para economias de serviços mais ecológicos e limpos, assim como com a tendência para a sociedade valorizar mais a proteção do ambiente e qualidade ambiental. Estudos posteriores vieram testar uma outra forma de relação, nomeadamente em forma de N (por exemplo, Álvarez-Herranz

et al., 2017). Ou seja, numa terceira fase a economia começa a experimentar aumentos de obsolescência técnica e a determinado ponto uma relação positiva volta a emergir entre o rendimento e os níveis de danos ambientais.

A Hipótese EKC (e os diferentes formatos da curva) tem sido amplamente estudada, como é depreendido pelas revisões em Dinda (2004), Özokcu e Özdemir (2017) e Gill et al. (2017), sendo que os resultados diferem significativamente consoante o contexto estudado, pois está antes de mais dependente da estrutura económica que difere entre países, regiões e setores, o que justifica a abordagem de estudar e focar num país apenas (Özokcu e Özdemir, 2017). A grande maioria dos estudos existentes analisa dados agregados para diferentes economias, enquanto outros, efetuados a nível de um país, usam dados agregados de toda a economia, negligenciam o efeito das assimetrias na estrutura da atividade produtiva, e a heterogeneidade entre os setores.

Assim, nesta tese, estuda-se a relação entre a atividade económica de um país e os danos ambientais, considerando dados em painel de 11 setores económicos, em Portugal. A atividade económica dos setores é medida pelo Valor Acrescentado Bruto (VAB) e os efeitos ambientais são aferidos pela variável volume de emissões de CO<sub>2</sub>. O estudo cobre um período de 17 anos, entre 1996 e 2013.

A dissertação inspira-se primordialmente em dois estudos, nomeadamente Balin e Akan (2015) e Moutinho et al. (2017). Relativamente ao primeiro artigo (Balin e Akan, 2015), os autores comparam duas especificações diferentes da hipótese EKC, para um conjunto de 27 países desenvolvidos, entre os anos de 1997-2009. Concluem que existe uma relação na forma de “N” entre o indicador CO<sub>2</sub> *per capita* e o PIB *per capita*, indo contra o modelo tradicional da Hipótese EKC do modelo de “U” invertido. Os autores analisam ainda os possíveis efeitos da inovação e da produção industrial na EKC.

Já Moutinho et al., (2017) estudam a relação entre o crescimento económico e variáveis ambientais, efetuando uma análise em duas especificações não-lineares (uma especificação quadrática e uma especificação cúbica). Este mesmo estudo é aplicado para Portugal e Espanha, entre 1975-2012, usando para tal dados sobre 13 setores de atividade económica (comuns nos dois países), usando também proxys para o crescimento (Valor Acrescentado Bruto - VAB), consumo de energia elétrica e emissões de dióxido de carbono, como variável representativa de dano ambiental. A principal conclusão é que existe evidência da Hipótese EKC na forma de “U” invertido, havendo também outras funções em forma de “N” que ajudam a explicar a relação entre as variáveis, e explicar diferenças entre os dois países analisados.

O nosso estudo é focado em Portugal por este ser um país que nos últimos anos tem realizado um esforço de recuperação tecnológica (Walters, 2015) e ambiental; e ainda por esta temática ainda ser pouco abordada, sobretudo no panorama sectorial. Portugal apresenta-se como um dos países classificados no Scoreboard (2017) como um país moderado no que diz respeito à Inovação, tendo ao longo destes últimos anos vindo a recuperar algum terreno e a aproximando-se do grupo de países classificados como seguidores (Scoreboard, 2017).

Do que foi possível apurar através da revisão da literatura, não existe nenhum estudo em Portugal que analise econometricamente com detalhe a relação entre a atividade económica e a degradação ambiental para o conjunto de setores que aqui consideramos, ou que inclua o efeito da inovação sobre essa mesma relação EKC. Esta dissertação pretende colmatar esta lacuna. Assim, o contributo para a literatura existente prende-se com o uso de dados por setores de atividade económica e com a inclusão da inovação no estudo da relação entre emissões e crescimento económico, ou seja, para testar a hipótese EKC.

Deste modo, apresentamos no capítulo 2 uma revisão de literatura mais relevante para o tema proposto. No terceiro capítulo apresenta-se a metodologia e os dados usados na dissertação. No capítulo 4 apresentam-se os diferentes testes realizados, bem como os principais resultados obtidos. O capítulo 5 finaliza este trabalho salientando as principais conclusões do trabalho, explorando-se possíveis implicações para os sectores e em termos de política.



## 2. Revisão de Literatura

Neste capítulo destacamos na literatura um conjunto de estudos, do ponto de vista de enquadramento da tese. Numa primeira secção discute-se algumas das evidências empíricas relativas à EKC, e, numa segunda secção, salienta-se o papel da inovação sobre a relação entre crescimento e ambiente. Não pretendendo ser exaustiva, a revisão tem por objetivo elucidar sobre as principais variáveis, métodos e resultados obtidos pela literatura existente.

### 2.1 Evidências empíricas relativas à EKC

Simon *Kuznets*, entre as décadas de 1950 e 1960 dedicou-se ao estudo de hipóteses que estudassem/medissem o desenvolvimento de uma economia e as consequências colaterais na maior/menor desigualdade económica geral das sociedades (Kuznets, 1955). A curva de *Kuznets* tem como base uma relação, na forma de um “U invertido”, entre dois indicadores – no qual, normalmente, é considerado o nível de poluição e o crescimento *per capita*. Assim, à medida que o crescimento económico aumenta, a pressão ambiental (per capita) também cresce até um determinado ponto, a partir do qual a relação passa a ser negativa (Panayotou, 1993; Balin e Akan, 2015). À medida que o bem-estar social aumenta, as pessoas estão mais dispostas a usar produtos ecológicos e procuram produtos/serviços certificados e que cumpram diversas normas ambientais. O aumento da qualidade de vida faz com que as economias/sociedades façam pressão junto das autoridades e governos nacionais de forma a tomarem medidas de incentivo a melhores práticas ecológicas. Por outro lado, a maior informação dos produtos ou processos produtivos, as inovações introduzidas nesses mesmos processos, e a maior pressão exercida pelas sociedades em preferirem produtos que cumpram normas ecológicas, também incentivam a introdução de produtos “mais ecológicos” e/ou de processos de fabrico que vão de encontro a esta consciência ambiental superior. São estas atitudes que explicam ainda porque a qualidade ambiental começa a deteriorar-se nas fases iniciais do crescimento/desenvolvimento económico e melhora nas fases mais adiantadas deste processo, gerando a forma de um “U invertido” na relação entre emissões e crescimento económico (Grossman e Krueger, 1995).

Como já referido, diversos estudos vieram testar outras formas de relação, nomeadamente em forma de N (por exemplo, Álvarez-Herranz et al., 2017). Ou seja,

numa terceira fase a economia começa a experimentar aumentos de obsolescência técnica e a determinado ponto uma relação positiva volta a emergir entre o rendimento e os níveis de danos ambientais. Estes estudos parecem indicar que o crescimento pode ser compatível com a melhoria ambiental, tendo em conta a introdução, de forma antecipada, de políticas apropriadas. Coondoo & Dinda (2002) referem que antes de adotar uma política (de ordem ambiental/ecológica/social) é importante perceber qual a natureza e a relação entre o crescimento e a qualidade ambiental. Só depois podemos questionar se o crescimento económico é parte do problema ambiental ou se é de facto a solução para o mesmo.

A apresentação de resultados ligados à Curva de *Kuznets* (EKC) têm assumido diversas posições devido à sensibilidade dos resultados derivados dos mesmos. As diversas variáveis utilizadas como forma de medir o impacto da atividade económica na qualidade ambiental têm, deste modo, criado diversas dúvidas sobre o impacto desta avaliação e desta metodologia como forma de medir o impacto ambiental. Com isto, aparecem novos testes e metodologias como forma de complementar e criar uma maior robustez aos resultados (Gill et al., 2017).

A análise da relação entre o crescimento económico e a qualidade ambiental tem, desde esse tempo, captado grande atenção por parte de investigadores, os quais, a partir da década de 90, dedicaram-se em estudos teóricos e empíricos a investigar os efeitos ambientais do crescimento económico dos países/setores/regiões, analisando cada fase do processo de desenvolvimento. Grossman e Krueger (1995), por exemplo, tentam explicar de uma forma sistemática, como se relacionam as variáveis de crescimento económico e o crescimento da qualidade ambiental, abrangendo para isso quatro tipos de indicadores: a poluição do ar urbano; o nível de oxigénio nas bacias hidrográficas; e a contaminação das bacias hidrográficas por dois tipos de poluidores. Neste mesmo estudo, não foi possível encontrar nenhuma evidência de que a qualidade ambiental piora com o crescimento da atividade económica.

Na tabela 1 apresenta-se um resumo de alguns artigos que analisaram a relação entre emissões e crescimento económico e se esta relação segue a hipótese EKC. Existem resultados contraditórios na literatura como se pode verificar na tabela 1



Tabela 1 – Síntese de Literatura: testes da Hipótese EKC para países, grupo de países ou setores de atividade

Artigos	Metodologias	Período	Contexto	Principais Conclusões
Moutinho et al. (2017)	Relação entre crescimento económico e variáveis ambientais é analisada sob duas especificações não-lineares, uma especificação quadrática e uma especificação cúbica.	1975-2012	13 setores de atividade de Portugal e Espanha	Há evidências de uma EKC em forma de U invertido. Existem também outras funções invertidas em N que explicam a relação entre crescimento económico e emissões. Resultados empíricos indicam diferenças particulares entre os setores português e espanhol.
Katircioğlu e Taşpinar (2017)	O estudo usa dois modelos separados para este propósito: (1) o modelo de efeitos principais e (2) o modelo de efeitos de interação; As variáveis do estudo são as emissões de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) (kt) <i>per capita</i> , o uso de energia (E) (kt de equivalente de petróleo) per capita, o PIB constante (2005 = 100) (y) per capita, ao quadrado PIB constante (2005 = 100) (y <sup>2</sup> ) per capita e o índice financeiro composto como proxy para o desenvolvimento financeiro (FD).	1990-2010	Turquia	Relação de equilíbrio de longo prazo entre o desenvolvimento financeiro e a EKC, usando ambos os modelos. O desenvolvimento financeiro moderou o efeito do produto real sobre as emissões de dióxido de carbono, o que significa desempenho ambiental bem-sucedido e boa gestão de energia. O desenvolvimento financeiro modera o efeito do produto real sobre as emissões de dióxido de carbono nos períodos mais longos de forma positiva, o que significa que as políticas de poupança de energia e políticas ambientais precisam de ser estabelecidas para atingir períodos mais longos e as políticas de gestão energética em níveis mais elevados de atividade económica
Piaggio et al. (2017)	Técnicas de cointegração e estimação de um modelo de correção de erro vetorial (VECM), recorrendo a um conjunto de indicadores como o PIB (preços constantes), taxas de câmbio, população residente, Indicadores de composição industrial, participação industrial na atividade económica; no longo prazo, considerando também a dinâmica de curto prazo.	1882-2010	Uruguai	Relação linear (log-log) entre as emissões de CO <sub>2</sub> e o nível de atividade económica <i>per capita</i> ; Não rejeição do modelo de registro de nível, indicando que as emissões aumentam a uma taxa decrescente em relação ao aumento da atividade económica. As emissões aumentam em conjunto com a participação do setor industrial na produção total, como consequência da intensidade dessa atividade no consumo de energia proveniente de fontes de combustíveis fósseis; O grau de abertura está inversamente relacionado com as emissões de CO <sub>2</sub> ; As mudanças nas emissões de CO <sub>2</sub> são inversamente relacionadas à variação do peso de fontes limpas no fornecimento total de energia; O crescimento económico parece não ser suficiente para diminuir as emissões Uruguaias no longo prazo.
Bimonte e Stabile (2017)	Modelo de regressão de dados em painel com o objetivo de investigar a relação entre o consumo doméstico (20 regiões italianas) e o Produto Interno Bruto (PIB), per capita.	1980-2010	20 regiões italianas	Resultados mostram a existência de um U invertido na hipótese EKC. Em períodos mais longos existe a tendência para a curva em forma de N; Contrariamente à hipótese de EKC, tanto as estimativas do efeito fixo quanto as do modelo de efeito aleatório mostram que um maior crescimento não quer dizer uma maior consciência ambiental. O documento reivindica uma mudança do mercado para a política pública. Melhor planeamento urbano e uma maior tributação de propriedade "ambiental" poderiam ser estratégias eficientes.

Samargandi (2017)	Três canais: volume de produção, performance de setores dominantes no PIB e inovação tecnológica; Dados de séries temporais e aplica a metodologia Autoregressive distributed lag (ARDL)	1970-2014	Arábia Saudita	Fortes evidências de que o crescimento económico promove as emissões de CO <sub>2</sub> linearmente; Os resultados indicam também que o aumento de valor no crescimento nos setores industrial e de serviços é responsável por um crescimento mais rápido das emissões de CO <sub>2</sub> , enquanto o aumento de valor da agricultura está negativa e insignificamente associada às emissões. Finalmente, este estudo mostra que a inovação tecnológica é insignificante para ajudar a reduzir as emissões de CO <sub>2</sub> ; O progresso tecnológico substancial no processo de produção reduziria as emissões de CO <sub>2</sub> sem prejudicar o crescimento económico.
Alshehry e Belloumi (2017)	Estuda a relação entre o CO <sub>2</sub> , com outras variáveis tais como o consumo de energia no transporte rodoviário e a atividade económica naquele país. São realizados os seguintes testes: os testes de raiz da unidade convencional, os testes de raiz unitária com o ponto de interrupção, aplica a metodologia Autoregressive distributed lag (ARDL) e “testing to cointegration procedure and Granger”	1971-2011	Arábia Saudita	Não existe um relacionamento de U invertido entre as emissões de CO <sub>2</sub> do transporte e o crescimento económico na Arábia Saudita; Existe uma causalidade bidirecional entre as emissões de CO <sub>2</sub> do transporte e o consumo de energia do transporte rodoviário, tanto a curto como a longo prazo. Existe também uma causalidade unidirecional que decorre do crescimento económico para o transporte, de emissões de CO <sub>2</sub> e o consumo de energia no transporte rodoviário a longo prazo. Os resultados indicam que as políticas de conservação de energia no setor de transportes devem ser abordadas a longo prazo sem cautela para limitar o crescimento económico. Além disso, do ponto de vista da sustentabilidade, um crescimento económico contínuo não é possível na Arábia Saudita sem o aumento contínuo das emissões de carbono.
Kopidou e Diakoulaki (2017)	O objetivo deste estudo passa pela investigação de como as mudanças na produção e no consumo de produtos industriais afetam as emissões de CO <sub>2</sub> . Para isso é utilizado um modelo “Index Decomposition Analysis”.	2000-2011 (2000-2008; 2008-2011)	Quatro países do sul da Europa: Grécia, Itália, Espanha e Portugal	A evolução geral das emissões industriais de CO <sub>2</sub> foi bastante semelhante em todos os países e os resultados de decomposição dos dois subperíodos revelaram homogeneidade substancial entre os países. Dois fatores motivadores baseados na produção, a atividade económica e a intensidade energética, foram os principais fatores motivadores que moldaram a mudança total nas emissões de CO <sub>2</sub> das indústrias nos países examinados. Os fatores de condução baseados no consumo contribuíram principalmente para o aumento das emissões industriais de CO <sub>2</sub> , mas não no mesmo nível que os de produção. A produção industrial foi mais afetada pela crise económica do que as despesas dos consumidores. Os resultados de decomposição realizados a nível sectorial na indústria revelaram que era difícil para os consumidores do sul da Europa mudar para um padrão mais consciente do meio ambiente e as suas preferências de consumo não foram significativamente afetadas pelas consequências da crise económica.
Pablo-Romero et al. (2017)	A curva de Kuznets e de energia são estimadas para um conjunto de dados de painel, para uso total de energia do transporte, uso de energia do transporte doméstico e uso de energia de transporte produtivo (os três em termos de uso de energia absoluta e <i>per capita</i> ).	1995-2009	UE27	Os resultados empíricos mostram que a elasticidade do uso de energia do setor dos transportes em relação ao valor agregado bruto em termos <i>per capita</i> diminui de um limite para as três variáveis de consumo de energia do transporte. O ponto de mudança na qualidade ambiental não é alcançado em nenhum momento.

Solarin et al. (2017)	Principal objetivo é a investigação da “pollution haven hypothesis (PHH)”, utilizando as emissões de CO <sub>2</sub> como indicador de poluição do ar. São utilizadas variáveis como o PIB, PIB <sup>2</sup> , Consumo de Energia, Consumo de energia renovável, Consumo de energia de combustíveis fósseis, Investimento direto estrangeiro, a qualidade institucional, a taxa de urbanização e a abertura comercial. Foram usados modelos de Autoregressive distributed lag (ARDL)	1980-2012	Gana	Existência de uma relação de longo prazo entre as variáveis analisadas. Além disso, o PIB, o investimento estrangeiro direto, a população urbana, o investimento direto estrangeiro e o comércio internacional têm um impacto positivo nas emissões de CO <sub>2</sub> , enquanto a qualidade institucional diminui as emissões no Gana. Foram fornecidas várias recomendações políticas para o Gana de acordo com os resultados obtidos.
Pal e Mitra (2017)	Analisa a co-integração entre emissões de CO <sub>2</sub> , atividade econômica, uso de energia e comércio. É usando o modelo de Autoregressive distributed lag.	1971-2012	Índia e China	Efeito de longo prazo da atividade econômica e da abertura comercial e um efeito de curto prazo do uso de energia nas emissões de CO <sub>2</sub> . Mostra a relação em forma de N entre as emissões de CO <sub>2</sub> e a atividade econômica.
Talbi (2017)	Analisa o impacto do consumo de energia de combustível, energia intensiva do transporte rodoviário, crescimento econômico, urbanização e taxa de combustível nas emissões de CO <sub>2</sub> . O modelo Vector Autorregressivo (VAR) e analisa os fatores de influência das mudanças nas emissões de CO <sub>2</sub> , no setor de transportes.	1980-2014	Tunísia	A eficiência energética e a taxa de combustível nas emissões de CO <sub>2</sub> desempenham um papel dominante na redução das emissões de CO <sub>2</sub> . Resultados empíricos confirmam a hipótese EKC, o que sugere que o desenvolvimento econômico segue um padrão de U invertido em relação às emissões de CO <sub>2</sub> na Tunísia
Özoku e Özdemiş (2017)	Objetivo é investigar a relação entre crescimento e emissões de dióxido de carbono no contexto da Curva de Kuznets. São usados dois modelos empíricos no qual é examinada a relação entre crescimento (per capita), consumo de energia (per capita) e as emissões de CO <sub>2</sub> (per capita), usando técnicas de avaliação de dados do painel com a aplicação dos erros padrão de Driscoll-Kraay.	1980-2010	Primeiro modelo- 26 países da OCDE com altos níveis de crescimento; Segundo modelo- dados são examinados para 52 países emergentes	Os resultados de ambos os modelos mostram que a hipótese EKC não é suportada, o que implica que uma degradação ambiental não pode ser corrigida somente pelo crescimento econômico.

Fujii e Managi (2016)	Análise à relação entre crescimento económico e as emissões de oito contaminantes atmosféricos ambientais (dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ); metano (CH <sub>4</sub> ); óxido nitroso (N <sub>2</sub> O); óxido de nitrogénio (NO <sub>x</sub> ), óxido de enxofre (SO <sub>x</sub> ), carbono monóxido (CO), composto orgânico volátil não metano (NMVOC); amônia (NH <sub>3</sub> )) Teste da hipótese ambiental da Curva Kuznets para 16 setores industriais individuais e para o setor industrial (no seu todo). Aplicou-se uma de regressão de painel.	1995-2009	39 países; 16 setores de atividade industrial <sup>1</sup>	Pelo menos dez indústrias individuais não têm relação EKC em oito poluentes do ar, mesmo que essa relação tenha sido observada no país e dados do nível total do setor industrial; O ponto de viragem (EKC) e a relação entre desenvolvimento económico e as tendências das emissões de poluentes atmosféricos diferem entre indústrias de acordo com as substâncias de poluição.
Abdallah et al. (2013)	Técnica de cointegração de Johansen e a abordagem da curva de Kuznets ambientais (EKC). Examina o nexó entre o valor acrescentado do transporte, o consumo de energia relacionada com o transporte rodoviário, a infraestrutura rodoviária, o preço do combustível e as emissões de CO <sub>2</sub> do sector dos transportes	1980-2010	Setor Transportes Tunísia	Existe uma relação inversa em N entre o valor acrescentado do transporte e o transporte rodoviário e as emissões de CO <sub>2</sub> . Os resultados empíricos não apoiam a hipótese de neutralidade entre a energia e o crescimento para o sector dos transportes rodoviários na Tunísia. Todas as medidas que devem reduzir o consumo de petróleo e as emissões de gases de efeito estufa sem um crescimento económico significativo podem ser realizadas.
Fujii e Managi (2013)	Análise à relação entre as emissões de CO <sub>2</sub> de diferentes indústrias e o crescimento económico nos países da OCDE. Testou-se a hipótese de Curva ambiental de Kuznets (EKC).	1970-2005	Diferentes indústrias e crescimento económico nos países OCDE	Testam uma hipótese de curva ambiental de Kuznets (EKC); emissões totais de CO <sub>2</sub> de nove indústrias mostram uma tendência em forma de N em vez de U invertido ou tendência de aumento com aumento do crescimento. A hipótese EKC para emissões de CO <sub>2</sub> a nível do setor foi suportada na (1) indústria de papel, celulose e impressão; (2) indústria de madeira e produtos de madeira; e (3) indústria da construção civil. As emissões de carvão e petróleo aumentam com o crescimento económico nas indústrias de aço e construção. As indústrias de minerais não metálicos, máquinas e equipamentos de transporte tendem a aumentar as emissões de petróleo e eletricidade com o crescimento económico. O ponto de viragem da EKC e a relação entre o PIB <i>per capita</i> e as emissões de CO <sub>2</sub> setoriais diferem entre indústrias de acordo com o tipo de combustível utilizado. Portanto, as políticas ambientais para a redução de CO <sub>2</sub> devem considerar essas diferenças nas características industriais.

<sup>1</sup> Setor industrial; minas e pedreira; alimentação, bebidas e tabaco; produtos têxteis; couro e calçado; madeira e cortiça; papel, impressão e publicação; petróleo; produtos químicos; borracha e plásticos; outros minerais não metálicos; metais básicos e metal fabricado; equipamento elétrico; equipamento de transporte; energia elétrica, gás e água; construção.

Grossman e Krueger (1995)	Relação entre rendimento <i>per capita</i> e vários indicadores ambientais, sob a forma de tipos de indicadores: poluição do ar urbano, nível de oxigénio nas bacias hidrográficas e dois tipos de contaminação das bacias hidrográficas.	1975-2012	13 setores de atividade de Portugal e Espanha	Não existe evidências que a qualidade ambiental se deteriora de uma forma constante com o crescimento económico. Por sua vez, na grande maioria dos indicadores, o crescimento económico permite uma deterioração numa fase inicial e posteriormente uma melhoria significativa.
Alvarez-Herranz et al. (2017)	Com base no modelo de Grossman e Krueger (1995), no qual estabelece uma relação entre poluição ambiental e níveis de rendimento (na forma de N-Shape). Inclui variáveis como a poluição ambiental num país, o PIBpc, o nível de rendimento <i>per capita</i> e variáveis adicionais que afetam a poluição.	1990-2012	17 países da OCDE	Existe evidências da existência de uma relação EKC em formato de N. Também exploram o facto de que, segundo a hipótese EKC, existe uma relação entre a qualidade ambiental e o crescimento económico, sendo que a relação altera-se assim que um certo nível de rendimento é alcançado.
Wang et al. (2017)	Testar os impactos do crescimento económico e de urbanização em várias emissões industriais de carbono através da investigação da existência de uma curva Kuznets ambiental. Para este efeito são usados dados em painel juntamente com regressão de efeitos fixos de painel semi-paramétrico.	2000-2013	Províncias e subsectores indústria da China	Existe evidências de uma relação inversa da curva em forma de U entre o crescimento económico e as emissões de dióxido de carbono no setor de produção de eletricidade e calor, mas uma inferência semelhante apenas para a urbanização e as emissões no setor de manufatura. A heterogeneidade na relação EKC em todos os setores da indústria implica que é urgente projetar políticas mais específicas relacionadas à redução de emissões de carbono para vários setores da indústria.
Mazzanti et al. (2007)	Conjunto de dados em painel baseado no NAMEA italiano (Matriz de contas nacionais, incluindo contas ambientais). Tanto o valor adicionado como o stock de capital por empregado são usados como condutores alternativos para analisar as emissões NAMEA setoriais. A abertura comercial no mesmo nível setorial também é introduzida entre as co variáveis.	1990-2001	29 setores em Itália	Existe evidências empíricas sobre desvinculação e Environmental Kuznets Curves (EKC) para gases de efeito estufa e outras emissões de poluentes atmosféricos. Há evidências contraditórias que apoiam a hipótese de EKC <sub>2</sub> e CH <sub>4</sub> ) e CO <sub>2</sub> , produzem curvas em forma de U invertidas com pontos de rotação dentro da linha coerentes. Outros poluentes (SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , PM <sub>10</sub> ) mostram uma relação monotónica ou mesmo em forma de N.
Congregado et al. (2016)	Tendo como base a proposta de Jaunky (2011), testa a hipótese EKC nos EUA, numa análise por setor de atividade. É usado um logaritmo nas emissões de CO <sub>2</sub> , no qual é estimada a elasticidade entre o CO <sub>2</sub> e o PIB.	Dados trimestrais de 1973-2015	EUA a nível nacional e nos setores comércio, elétrico, indústria, residencial e transportes	Há existência da curva ambiental Kuznets (EKC) nos EUA só quando existe quebras estruturais. O setor industrial mostra um padrão diferente de outros setores económicos; com o início da crise económica, parece ter abandonado o objetivo da estabilização ambiental encontrada até então.
Xu e Lin (2015)	Dados em painel e modelos de regressão de aditivos não paramétricos para examinar os principais fatores de influência das emissões de CO <sub>2</sub> no setor de transportes.	2000-2012	Setor dos transportes na China	Há evidências de um efeito não linear do crescimento económico no CO <sub>2</sub> , no qual as emissões são consistentes com a hipótese do Environmental Kuznets Curve (EKC). O impacto não-linear da urbanização exibe um padrão invertido em "U" em função de migrações populacionais em larga escala nos estágios iniciais e expansão do uso de transporte público ferroviário não-poluente e veículos de combustível híbrido na fase posterior. A população de veículos particulares segue um relacionamento invertido "em forma de U" com as emissões de CO <sub>2</sub> .
Li et al. (2016)	Este estudo aplica a raiz da unidade do painel, a cointegração de um painel heterogéneo e os mínimos quadrados normais dinâmicos baseados em painéis para investigar a Curva de Kuznets.	1989-2009	31 províncias da China	Existe evidência de uma relação positiva e co integrada a longo prazo entre o índice ambiental e o PIB <i>per capita</i> real. Essa relação assume a Curva de Kuznets Ambiental em forma de U invertida.

Hamit-Haggan (2012)	Estudo da relação causa-efeito entre emissões de gases de efeito estufa, consumo de energia e crescimento económico.	1990-2007	Indústrias do Canadá	Há evidências que, no equilíbrio a longo prazo, o consumo de energia tem um impacto positivo e estatisticamente significativo nas emissões de gases de efeito estufa, enquanto evidencia uma relação não-linear entre as emissões de gases de efeito estufa e o crescimento económico, consistente com a curva ambiental de Kuznets. A dinâmica de curto prazo transmite que existe uma causalidade unidirecional de Granger do consumo de energia para as emissões de gases de efeito estufa; do crescimento económico às emissões de gases de efeito estufa e uma fraca causalidade unidirecional decorrente das emissões de gases de efeito estufa para o consumo de energia; do crescimento económico ao consumo de energia.
Ren et al. (2014)	Estudo de emissões de CO <sub>2</sub> incorporadas no comércio internacional da China usando uma análise input-output. Com base em dados em painel e estimações GMM a dois passos, são testados os impactos do IDE, abertura comercial, exportações, importações e rendimento per capita em emissões CO <sub>2</sub> .	2000-2010	Indústrias na China	As principais conclusões são: o crescente <i>superavit</i> comercial da China é uma das importantes razões para o aumento rápido das emissões de CO <sub>2</sub> ; as grandes entradas de Investimento Direto Estrangeiro agravam ainda mais na China a variável de Emissões de CO <sub>2</sub> ; o rendimento <i>per capita</i> do setor industrial e a relação de emissão de CO <sub>2</sub> mostra uma curva de Kuznets em forma de U invertido.

Fonte: Elaboração Própria

Pelo que pudemos verificar, muitos estudos olham também para a relação entre o consumo energético e o crescimento económico, mas não há consenso. Ang (2007) demonstrou que o consumo de energia tem um impacto direto nos níveis de poluição ambiental. Outros estudos demonstram que existe uma relação entre rendimento, níveis de poluição atmosférica e consumo de energia (Apergis e Payne, 2015; Dogan e Seker, 2016).

Outros estudos analisam a hipótese EKC em termos de países e setores. Alvarez-Herranz et al. (2017) estudam a EKC em 17 países da OCDE durante o período de 1990-2012, confirmando a existência de uma relação EKC em formato de N. Também exploram o facto de que segundo a hipótese EKC, existe uma relação entre a qualidade ambiental e o crescimento económico, sendo que a relação altera-se assim que um certo nível de rendimento é atingido.

Encontramos ainda estudos que aplicaram a análise da relação EKC considerando setores específicos, mas não vários setores simultaneamente, ou estes são escassos, nomeadamente para Portugal. Wang et al. (2017) usam dados em painel na China e considerando os setores da manufatura, mineiro e produção de eletricidade e aquecimento. Mazzanti et al. (2007) usam dados em painel também aplicado a 29 setores em Itália. Fugii e Managi (2016) também com dados em painel estudaram 39 países e 16 setores industriais e o total do setor industrial. Congregado et al. (2016) aplicam o estudo para os EUA a nível nacional e nos setores comércio, elétrico, indústria, residencial e transportes. Olhando somente para o setor dos transportes Xu e Lin (2015) analisam a EKC para a China e Abdallah et al. (2013) para a Tunísia. Considerando somente o setor agrícola na China, Li et al. (2016) usam dados em painel e consideram 31 províncias. Para a indústria temos Hamit-Haggar (2012), aplicado ao Canadá que explora relações causais; Fugii e Managi (2013) para diferentes países da OCDE usando painel; e na China, Ren et al. (2014) aplicam a estimação GMM a dois passos. Moutinho et al. (2017) conduzem o estudo para Portugal e Espanha usando dados para 13 setores, com o GVA a representar rendimento, o uso/consumo de energia e as emissões de CO<sub>2</sub>, que representam a degradação ambiental. Descobrem uma relação EKC em forma de U-invertido, mas não incluem o efeito da inovação.

## *2.2 A Inovação, crescimento e dano ambiental*

A articulação entre crescimento económico e ambiente tem sido motivo de preocupação crescente, e alguns autores têm explorado variáveis que poderão afetar essa relação, sendo a inovação uma das que surge com maior potencial. Já em 1990, Romer demonstrou de que forma as externalidades de inovação poderiam conduzir à redução dos problemas ambientais, que por seu turno gerariam mais inovação e a difusão do conhecimento adquirido pelas economias. Logo, Romer (1990) tornou a análise da inovação tecnológica essencial no estudo dos processos de poluição ambiental a longo-prazo.

Neste espírito, Vukina et al. (1999) defendem que só é possível passar e manter numa zona positiva (ao nível de impacto económico e ambiental com o crescimento das economias) com a introdução de processos tecnológicos capazes de substituir as tecnologias antigas e obsoletas e introduzir novas capazes de serem mais eficientes, melhorando desta forma a qualidade ambiental. Brock e Taylor (2010) concluem que existe uma convergência para, cada vez mais, atingir-se um conhecimento sustentável quando há a introdução de novos meios tecnológicos, permitindo reduzir efeitos negativos no meio ambiente.

Suri e Chapman (1998) alertam para o facto de, nas economias mais desenvolvidas, existir uma maior pressão social sobre os governos para a adoção de medidas políticas de regime ambiental mais severas, com a redução de emissões poluentes a ser um ponto a atingir, existindo para isso o processo de introdução de inovações nos diversos processos produtivos. Komen et al. (1997) também partilham desta visão no seu estudo, no qual referem que a substituição das tecnologias mais obsoletas e a introdução de novas permite inverter a tendência de aumento de resíduos e poluição em sociedades mais desenvolvidas economicamente.

Andreoni e Levinson (2001) argumentam que a inovação é fundamental para se articular crescimento e ambiente. Neste estudo é possível verificar, através de um modelo estático, que alguns dos poluentes seguem um padrão (“U invertido”) em relação ao crescimento dos países, devido à introdução de tecnologia e inovação como forma de combater e diminuir “subprodutos” indesejáveis. Assim, seguindo a filosofia



destes e de outros autores, um dos principais motores das reduções de emissões será a introdução de produtos e processos inovadores.

Também nesta linha, Robalino-López et al. (2015) procuram perceber como controlar e estabilizar as emissões de CO<sub>2</sub>, numa altura em que existe uma aceleração do crescimento do PIB no médio-longo prazo, aplicando para isso um estudo de caso Venezuelano. Os resultados são curiosos pois os autores concluem que a Venezuela não consegue cumprir com a estabilização das emissões de CO<sub>2</sub>, mas afirmam que se houvesse uma política de incentivo à utilização de energias de teor renovável, rapidamente este país conseguiria atingir uma matriz económica e energética bastante razoável.

Assim, diversos autores referem a importância de incutir mudanças institucionais, sendo para isso urgente a implementação de políticas ambientais e maior consciencialização social e empresarial, como é o caso de Bhattarai e Hammig (2001), estudando também num campo macroeconómico (66 países da América Latina, Ásia e África). Estes autores referem que uma melhor utilização dos recursos, passando pela responsabilidade institucional dos países como a utilização nas empresas, permite reduzir a externalidade negativa ligada à natureza. Desta forma, as características de um sistema político têm impacto direto sobre a hipótese EKC pois, em sociedades mais evoluídas, a possibilidade de introdução de inovações é maior e assim, permite-se reduzir o impacto no meio ambiente.

A importância da inovação é também subjacente ao estudo de Grossman e Krueger (1995), que relacionam o crescimento económico com o impacto na qualidade do ambiente. Segundo os autores aquela relação está associada a três efeitos: efeito escala; efeito composição; efeito tecnológico. O primeiro efeito de todos retrata o aumento da atividade económica, levando a que exista uma maior degradação ambiental, *ceteris paribus*. Assim, para este efeito é necessária a constante renovação de recursos, indo desta forma ao encontro da taxa de consumo dos mesmos. No que diz respeito ao segundo efeito apresentado, este apresenta diversas dimensões: a economia em si e a produção na mesma. A importância da produção mudou em indústrias de alta intensidade tecnológica e aponta o setor dos serviços como um dos indicadores desta mudança estrutural, bem como os efeitos no meio ambiente. Já o efeito tecnológico, segundo os autores, está associado às várias fases da produção e processos de industrialização. Numa fase inicial, as empresas pretendem atingir um certo patamar de

lucros, deixando para segundo plano a preocupação ambiental bem como os impactos sobre o ambiente. A poluição vai sendo cada vez maior à medida que se intensifica a produção industrial. Numa fase mais avançada, com a introdução de inovações e tecnologias modernas, as empresas conseguem inverter este crescimento de resíduos, mantendo (ou conseguindo mesmo aumentar) os seus lucros e objetivos financeiros.

Ayres e Bergh (2005) referem que a introdução de inovação e tecnologia permite agregar valor económico ao produto/serviço final e permite atingir economias de escala quando existe o aumento de produção proporcionada por indicadores de inovação e I&D. Para além disso, o mesmo estudo refere que cada vez mais deve-se considerar a escassez de recursos naturais um problema real, adotando novos processos e utilizando os materiais mais corretos de modo a que os produtos finais tenham um “tempo de vida” mais prolongado e maiores utilizações. A ideia passa por incutir inovações tecnológicas nas diversas indústrias e estas possam reinventar e alterar padrões de consumo das sociedades atuais.

Muller-Furstenberger e Wagner (2007) referem no seu artigo que a parte ascendente da curva acontece quando incluímos o termo cúbico e este está relacionado com o processo de inovação tecnológica (e ao seu desgaste) ou até mesmo à pressão da procura, o que leva muitas vezes as empresas/indústrias a utilizar recursos não renováveis e a aumentarem assim a emissão de poluentes.

A inovação reflete-se também, indiretamente, ao nível da eficiência energética, traduzindo-se num consumo cada vez menor de energia por unidade de produto realizado ou serviço prestado (Lima et al., 2017). Estudos apontam que a inovação associada à energia tem um impacto positivo no controlo dos níveis de emissão de GHG (Andreoni e Levinson, 2001), onde evidenciam esta relação dentro do modelo EKC, concluindo que o crescimento económico por si só é insuficiente para resolver os problemas de poluição ambiental (Álvarez-Herranz et al., 2017).

Balsalobre et al. (2015) providenciam evidência empírica de que as inovações tecnológicas de baixo carbono e a redução da poluição ambiental seguem uma relação estreita. Estudos mais recentes confirmam esta interação positiva entre os avanços nos processos energéticos e a melhoria da qualidade ambiental dentro da modelização EKC (Lorente e Álvarez-Herranz, 2016; Alvarez-Herranz et al., 2017).

Um artigo que explora setores, mas a nível mais agregado, é o de Samargandi (2017) que estuda a hipótese EKC para a Arábia Saudita considerando o volume de produção,

o valor acrescentado setorial para o PIB e a inovação tecnológica. Usando a metodologia ARDL não encontra evidência para a existência da EKC. Os resultados indicam que o valor acrescentado do crescimento nos setores da indústria e serviços são responsáveis pelo crescimento rápido das emissões mas que o da agricultura é negativa e não estatística e significativamente associado com as emissões. Os resultados empíricos demonstram que a inovação tecnológica não é significativa na redução de emissões de CO<sub>2</sub>, afirmando que o progresso tecnológico substancial no processo produtivo irá reduzir as emissões sem prejudicar o crescimento económico.

Brock e Taylor (2005) também indicam que a validade da teoria EKC depende fortemente de três determinantes: 1) o volume de produção; 2) a composição dos meios de produção; e 3) o uso de tecnologia na produção. Muitos outros estudos evidenciam que o progresso tecnológico reduz as emissões de CO<sub>2</sub> através do aumento da eficiência energética e porque permite a produção de energia mais limpa (Chen e Chen, 2011; Sohag et al., 2015; Alshehry e Belloumi, 2015).

Álvarez-Herranz et al. (2017a) estudaram os impactos dos avanços na I&D em energia sobre as emissões de GHG usando a hipótese EKC para 28 países da OCDE durante 1990 e 2014. Usaram a mesma *proxy* de inovação que em Álvarez-Herranz et al. (2017). O modelo proposto pelos autores considera que a inovação em energia acumula ao longo do tempo e apresentam evidência empírica em como a inovação em energia (despesa pública em I&D em energia) contribui para reduzir a intensidade energética e a poluição ambiental.

Balin e Akan (2015) estudam a hipótese EKC comparando duas especificações diferentes da hipótese em 27 países desenvolvidos durante 1997 e 2009 usando a metodologia de dados em painel. Desses 27 países, Portugal foi incluído (p.85, nota de rodapé nº4). Usaram no modelo o número de patentes registadas por residentes e a despesa em I&D como percentagem do PIB, como *proxies* para a inovação. Contudo, os autores não exploram setores, nem consideram o facto de que a inovação pode levar algum tempo até produzir os efeitos desejados. No mesmo ano, Mazur et al. (2015) também exploram empiricamente a relação entre emissões de carbono e o crescimento económico entre o período de 1992 e 2010 usando dados em painel para os 28 países da União Europeia (UE). Usam efeitos fixos e aleatórios mas não confirmam a forma de U para todos. Todavia, demonstram que o ponto de viragem para as emissões de CO<sub>2</sub> ocorre quando o PIB *per capita* chega ao valor de 23,000 USD. Sustentam que em

apenas 16 desses países, que eram países com relativamente elevado rendimento e dos mais antigos na UE, onde se inclui Portugal, é que existe fundamentação empírica para a validade da hipótese EKC.

Apesar da extensa literatura que existe sobre o teste da hipótese EKC, continua a existir uma falta de literatura que considere efeitos desfasados da inovação (Aghion et al., 2014; Álvarez-Herranz et al., 2017) pois existe um efeito desfasado da inovação sobre os processos de redução ambiental. O próprio trabalho de Balin e Akan (2015) não usa os efeitos desfasados de inovação, sendo que os efeitos da mesma podem demorar algum tempo até se fazerem sentir sobre a relação entre crescimento e emissões. Pelo que consideraremos também neste trabalho os efeitos desfasados da inovação. Outro contributo deste trabalho prende-se com o facto de que apesar de existir literatura aplicada a países/economias/regiões, pouco se sabe da hipótese EKC e do efeito da inovação na mesma considerando-se para o efeito vários setores de atividade económica em simultâneo.

### 3. Metodologia e Dados

Como forma de medir o desempenho ambiental dos diversos setores de atividade em Portugal, iremos utilizar um modelo ligado à hipótese EKC, seguindo o modelo económico geral da equação (1):

$$E_{it} = \beta_0 + \beta_1 X_{it} + \beta_2 X_{it}^2 + \beta_3 X_{it}^3 + \beta_4 Z_{it} + e_{it} \quad (1)$$

Nesta equação, o “ $E_{it}$ ” vai indicar a quantidade de emissões de CO<sub>2</sub> que cada setor de atividade em Portugal irá emitir, sendo que o “ $i$ ” simbolizará o setor de atividade específico, e o “ $t$ ” o período de tempo, que será o ano.

Na nossa análise empírica iremos explorar um painel equilibrado, testado em STATA14, com um total de 11 setores de atividade económica em Portugal, entre os anos de 1996 até 2013, de acordo com a disponibilidade comum de dados, considerando assim um conjunto total de 1314 observações anuais (excluindo os zeros), 198 observações para cada variável do painel. Os setores analisados são os que constam da tabela 2.

Tabela 2 – Conjunto de Setores de Atividades analisados, entre 1996 e 2013, em Portugal

<i>Conjunto de Setores de Atividade Analisados, entre 1996 – 2013 para Portugal</i>	
1	Agricultura, produção animal, caça, silvicultura e pesca
2	Indústrias extrativas
3	Indústrias transformadoras
4	Eletricidade, gás e água
5	Construção
6	Comércio por grosso e a retalho
7	Transporte e armazenagem
8	Alojamento, restauração e similares
9	Atividades financeiras e de seguros
10	Atividades imobiliárias
11	Atividades de saúde humana e apoio social

Fonte: Elaboração Própria

Na nossa análise, concentramo-nos na variável dependente, as emissões de CO<sub>2</sub> por ser um dos poluentes que mais contribuem para o aquecimento global mundial e atendendo aos seus efeitos colaterais. Como variáveis independentes destacamos o Valor

Acrescentado Bruto (a variável X na especificação da equação 1), tendo esta variável 2011 como ano base (milhões de euros; a preços constantes). A variável será considerada na versão quadrada e cúbica à semelhança de outros estudos (p.ex. Moutinho et al., 2017).

Para além disso, foram usadas variáveis ligadas à inovação, como é o caso da I&D (milhões de euros) e pessoas afetas à I&D por atividade económica (a tempo inteiro), sendo que foram usadas como *proxys* da atividade inovadora (Balin e Akan, 2015; Andreoni e Levinson, 2001; Muller-Furstenberger e Wagner, 2007). Samargandi (2017) usa as variáveis abertura comercial como fração do PIB e a inovação tecnológica, usando o número total de patentes seguindo Sohag et al. (2015). Tentámos usar de modo similar o número de patentes, mas este não estava disponível por setor de atividade económica, com o detalhe aqui necessário. Também Balin e Akan (2015) utilizam na sua análise o número de patentes para além da I&D.

Álvarez-Herranz et al. (2017), como analisam a nível agregado país, utilizam como *proxy* da inovação a despesa pública em I&D na energia em termos per capita. Não nos foi possível também recolher dados sobre I&D por setor apenas aplicada à energia, nem tão pouco o número de trabalhadores afetos a I&D em energia por setor, pelo que tivemos de recolher os dados mais gerais setoriais. Todavia, temos noção que estas duas limitações em termos de dados podem constituir uma fraqueza do nosso modelo.

O consumo de energia elétrica provém do facto de ser um indicador diretamente ligado à libertação de emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. A relação deste indicador com o da investigação e desenvolvimento permite atingir uma relação inversa significativa do consumo de energia elétrica por produto/serviço prestado e emissão de CO<sub>2</sub> (Dogan e Aslan, 2017; Fujii e Managi, 2013). Todas estas variáveis estão inseridas na variável Z da equação (1).

Como forma de garantir robustez das diversas variáveis convertimos as mesmas numa base logarítmica de modo a garantir a sua estacionariedade no longo prazo. A presença ou não de raízes unitárias foi posteriormente testada.

Relativamente às fontes dos nossos dados, as variáveis “Valor Acrescentado Bruto” e “Consumo de Energia Elétrica (CE)” foram retiradas do Pordata<sup>2</sup>; as “Emissões de

---

<sup>2</sup><http://www.pordata.pt/Portugal/Consumo+de+energia+el%C3%A9ctrica+total+e+por+sector+de+atividade+econ%C3%B3mica-1125>;  
[http://www.pordata.pt/Portugal/Valor+acrescentado+bruto+total+e+por+ramo+de+atividade+\(base+2011\)-2293](http://www.pordata.pt/Portugal/Valor+acrescentado+bruto+total+e+por+ramo+de+atividade+(base+2011)-2293)

CO<sub>2</sub>” foram retiradas do Instituto Nacional de Estatística<sup>3</sup>; e a “I&D” e “Pessoal que trabalha em I&D por atividade económica (PI&D)” foram retiradas da base de dados da OCDE<sup>4</sup>.

Como foi referido anteriormente, a Hipótese EKC pressupõe que, quanto mais cresce um país/setor/empresa maior será a consciência ecológica e, quanto maiores forem os avanços na tecnologia maior será a queda das emissões de CO<sub>2</sub> (Grossman e Krueger, 1995). Existem outros autores que referem a existência de um cenário em que a função tem um comportamento na forma de “N”, isto é, numa fase inicial de crescimento existe a redução ambiental mas, numa segunda fase de crescimento este cenário inverte-se, passando a crescer exponencialmente. Surgem assim três grandes hipóteses, que aqui iremos explorar, para examinar qual o tipo de relacionamento entre as emissões de CO<sub>2</sub> e o crescimento económico dos diversos setores de atividade:

***Hipótese 1:*** *A emissão de CO<sub>2</sub> terá uma relação estaticamente significativa com o VAB, mostrando comportamento na forma de “U” invertido em termos setoriais (Balin e Akan, 2015; Dinda, 2004; Grossman e Krueger, 1995).*

***Hipótese 2:*** *A emissão de CO<sub>2</sub> terá uma relação estaticamente significativa com o VAB, mostrando comportamento na forma de “N”, considerando-se setores de atividade económica (Balin e Akan, 2015; Vukina et al., 1999).*

***Hipótese 3:*** *A relação entre CO<sub>2</sub> e VAB é influenciada pela inovação, e mais pelos efeitos desfasados da mesma, também em termos setoriais (Álvarez-Herranz et al. 2017; Álvarez-Herranz et al., 2017a).*

Baltagi (2013) refere que o modelo de efeitos fixos será uma das especificações mais apropriadas se as observações estiverem concentradas num conjunto específico de “N” empresas, países ou setores em igual posição, enquanto o modelo de efeitos aleatórios é uma especificação mais apropriada quando as observações são tiradas de uma grande população. A partir deste ponto de vista, a escolha de efeitos fixos em vez de efeitos

---

3

[https://www.ine.pt/ngt\\_server/attachfileu.jsp?look\\_parentBoui=221891902&att\\_display=n&att\\_download=y](https://www.ine.pt/ngt_server/attachfileu.jsp?look_parentBoui=221891902&att_display=n&att_download=y)

<sup>4</sup> [https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=GERD\\_FUNDS](https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=GERD_FUNDS)

aleatórios seria uma escolha mais acertada, uma vez que estamos interessados em estimar a relação entre emissões de CO<sub>2</sub>, PIB *per capita* e nível de inovação para os diferentes setores de atividade. Porém, esta hipótese não é regra geral e a escolha entre os diferentes efeitos tem de ser realizada com base no teste de Hausman, para verificar qual das especificações será a mais adequada.

A fim de investigar a metodologia mais adequada para a Hipótese EKC entre os diferentes cenários (de “U invertido” ou “N-Shape”), apresentamos os diferentes modelos:

### Modelo 1:

$$CO_{2it} = \beta_0 + \beta_1 VAB_{it} + \beta_2 VAB_{it}^2 + \beta_3 I\&D_{it} + \beta_4 PI\&D_{it} + \beta_5 CE_{it} + d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 + d_6 + d_7 + d_8 + d_9 + d_{10} + \mu_{it} \quad (2)$$

### Modelo 2:

$$CO_{2it} = \beta_0 + \beta_1 VAB_{it} + \beta_2 VAB_{it}^2 + \beta_3 VAB_{it}^3 + \beta_4 I\&D_{it} + \beta_5 PI\&D_{it} + \beta_6 CE_{it} + d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 + d_6 + d_7 + d_8 + d_9 + d_{10} + \mu_{it} \quad (3)$$

Tal como estudado e colocado em evidência por Moutinho et al. (2017), Brown e McDonough (2016) referem-se às preocupações levantadas por Narayan e Narayan (2010) acerca do elevado grau de correlação entre rendimento e o rendimento ao quadrado ou cúbico, que poderão provocar problemas adicionais aquando da estimação do modelo. Para diminuir o grau de correlação seguiremos Brown e McDonough (2016) e Moutinho et al. (2017) e iremos centrar as variáveis relevantes. Estas variáveis centradas (à variável original em logaritmo natural retirou-se o valor da média ( $\bar{VAB}$ ), em cada período temporal), o VAB, são depois usadas para criar os polinómios de ordem 2 e 3 do VAB, de acordo com as especificações dos modelos presentes nas equações (4) e (5).

### Modelo 3:

$$CO_{2it} = \alpha_{it} + \beta_1 (VAB_{it} - \bar{VAB}) + \beta_2 (VAB_{it} - \bar{VAB})^2 + \beta_3 I\&D_{it} + \beta_4 PI\&D_{it} + \beta_5 CE_{it} + d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 + d_6 + d_7 + d_8 + d_9 + d_{10} + \mu_{it} \quad (4)$$



**Modelo 4:**

$$CO_{2it} = \alpha_{it} + \beta_1(VAB_{it} - \bar{VAB}) + \beta_2(VAB_{it} - \bar{VAB})^2 + \beta_3(VAB_{it} - \bar{VAB})^3 + \beta_4I\&D_{it} + \beta_5PI\&D_{it} + \beta_6CE_{it} + d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 + d_6 + d_7 + d_8 + d_9 + d_{10} + \mu_{it} \quad (5)$$

O modelo 1 tem como função tentar recriar a Hipótese EKC na sua forma tradicional, recorrendo para isso a outras variáveis capazes de explicar o comportamento do CO<sub>2</sub>, tais como o Valor Acrescentado Bruto, a I&D, bem como o pessoal afeto a este departamento de investigação, e o consumo de energia elétrica.

Já o modelo 2 vem ao encontro de outras abordagens de autores, no qual defendem que o comportamento da Hipótese EKC segue um comportamento em forma de “N – Shape” e, desta forma, é criado um modelo que permita testar e perceber se um determinado setor de atividade segue o efeito “U invertido” ou “N-Shape”. Por último os modelos 3 e 4 têm como explicação a realização de testes, mas considerando-se os valores centrados por forma a diminuir os problemas de possíveis correlações que possam emergir. Os modelos das equações (2) e (4) vão-nos permitir testar as hipóteses 1 e 3 apresentadas anteriormente, sendo que os das equações (3) e (5) nos permitem testar as hipóteses 2 e 3. Na tabela 3 descrevemos as variáveis utilizadas de forma sucinta.

Seguindo a literatura existente (Balin e Akan, 2015; Moutinho et al., 2017) serão os sinais dos coeficientes que nos permitirão verificar a forma assumida pela EKC (Dinda, 2004). Se os parâmetros significativos satisfizerem as condições:  $\beta_1 > 0$  e  $\beta_2 < 0$ , no caso dos modelos 1 e 3, então poderemos referir a existência de uma relação de “U invertida”. Isto implica que os setores de atividade apresentam um comportamento de degradação ambiental muito maior no início da atividade das empresas e que, num segundo período de tempo essa degradação ambiental vai sendo cada vez menor. Se pelo contrário os parâmetros forem significativos mas  $\beta_1 < 0$  e  $\beta_2 > 0$  obtemos uma curva em forma de U.

No caso dos modelos 2 e 4, com a especificação cúbica, se as condições:  $\beta_1 > 0$ ;  $\beta_2 < 0$  e  $\beta_3 > 0$ , então estamos na presença de uma relação na forma de N- Shape. Neste caso observaremos uma implicação diferente, sendo que haverá uma maior emissão de poluentes numa fase inicial, seguindo-se de uma ligeira quebra, sendo posteriormente compensada com um forte crescimento de emissões de CO<sub>2</sub>. Pelo contrário, se :  $\beta_1 < 0$ ;

$\beta_2 > 0$  e  $\beta_3 < 0$ , então estamos na presença de uma relação na forma de N- Shape invertida.

Tabela 3 - Conjunto de variáveis e respectivas abreviaturas

Abreviatura da variável	Unidade da variável	Descrição
CO <sub>2</sub>	1000t	Dióxido de Carbono
VAB	Milhões de Euros	Valor Acrescentado Bruto
I&D	Milhões de Euros	Investigação e Desenvolvimento
I&D <sub>t-1</sub>	Milhões de Euros	Investigação e Desenvolvimento desfasada 1 período
I&D <sub>t-2</sub>	Milhões de Euros	Investigação e Desenvolvimento desfasada 2 períodos
PI&D	Equivalente em tempo integral	Total do número de trabalhadores apenas destinados à I&D
CE	kWh	Consumo Energia elétrica
D1		Dummy no setor de agricultura, produção animal, caça, silvicultura e pesca
D2		Dummy no setor das Indústrias extrativas
D3		Dummy no setor Indústrias transformadoras
D4		Dummy nos setores de Eletricidade, gás e água
D5		Dummy no setor da Construção
D6		Dummy no setor de Comércio por grosso e a retalho
D7		Dummy no setor de transporte e armazenagem
D8		Dummy nos setores de alojamento, restauração e similares
D9		Dummy nos setores de atividades financeiras e seguros
D10		Dummy no setor das Atividades imobiliárias
D11		Dummy nos setores da saúde humana e apoio social

Fonte: Elaboração Própria

No caso de todos os modelos, espera-se que o valor dos betas ( $\beta$ 'is) relativos à I&D e Pessoal total a trabalhar em I&D, por setor de atividade, seja negativo pois Balin e Akan (2015), Andreoni e Levinson (2001) e Muller-Furstenberger e Wagner (2007)

referem que com um acelerar da inovação, maiores são as probabilidades de introduzir mecanismos que agriam menos o ambiente. No caso da variável de consumo energético elétrico, espera-se que o seu coeficiente beta associado apresente valores positivos pois esta é uma variável que está diretamente ligada ao crescimento da atividade económica e, por sua vez, à emissão de CO<sub>2</sub> (Moutinho et al., 2017).

Por forma a testar os efeitos desfasados da inovação sobre a relação proposta pela hipótese EKC, voltaram-se a estimar os modelos de 1 a 4 mas incluindo nas relações as variáveis desfasadas I&D a 1 e dois períodos por forma a verificar a hipótese também testada em Álvarez-Herranz et al. (2017a). Assim estimaram-se adicionalmente os modelos 5, 6, 7 e 8, representados do seguinte modo nas equações (6), (7), (8) e (9).

**Modelo 5:**

$$CO_{2it} = \beta_0 + \beta_1 VAB_{it} + \beta_2 VAB_{it}^2 + \beta_3 I\&D_{it-1} + \beta_4 I\&D_{it-2} + \beta_5 PI\&D_{it} + \beta_6 CE_{it} + d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 + d_6 + d_7 + d_8 + d_9 + d_{10} + \mu_{it} \quad (6)$$

**Modelo 6:**

$$CO_{2it} = \beta_0 + \beta_1 VAB_{it} + \beta_2 VAB_{it}^2 + \beta_3 VAB_{it}^3 + \beta_4 I\&D_{it-1} + \beta_5 I\&D_{it-2} + \beta_6 PI\&D_{it} + \beta_7 CE_{it} + d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 + d_6 + d_7 + d_8 + d_9 + d_{10} + \mu_{it} \quad (7)$$

**Modelo 7:**

$$CO_{2it} = \alpha_{it} + \beta_1 (VAB_{it} - \bar{VAB}) + \beta_2 (VAB_{it} - \bar{VAB})^2 + \beta_3 I\&D_{it-1} + \beta_4 I\&D_{it-2} + \beta_5 PI\&D_{it} + \beta_6 CE_{it} + d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 + d_6 + d_7 + d_8 + d_9 + d_{10} + \mu_{it} \quad (8)$$

**Modelo 8:**

$$CO_{2it} = \alpha_{it} + \beta_1 (VAB_{it} - \bar{VAB}) + \beta_2 (VAB_{it} - \bar{VAB})^2 + \beta_3 (VAB_{it} - \bar{VAB})^3 + \beta_4 I\&D_{it-1} + \beta_5 I\&D_{it-2} + \beta_6 PI\&D_{it} + \beta_7 CE_{it} + d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 + d_6 + d_7 + d_8 + d_9 + d_{10} + \mu_{it} \quad (9)$$



## 4. Resultados

Nesta secção começamos por apresentar os valores de estatísticas descritivas e de testes efetuados às variáveis, bem como se analisam interações entre diferentes rácios e a sua evolução temporal (secção 4.1) para cada um dos 11 setores de atividade económica, para posteriormente conseguirmos estimar os modelos 1, 2, 3 e 4 e os modelos 5, 6, 7 e 8 (na secção 4.2), como descritos na secção anterior.

### 4.1 Resultados das Estatísticas Descritivas

Os resultados das estatísticas descritivas sobre as variáveis estão resumidos na tabela 4. O número de observações válidas é de 198 e o volume médio de emissões de CO<sub>2</sub> é de 0,0717 toneladas/ano.

Tabela 4 – Quadro resumo das variáveis testadas

<b>VARIABLE</b>	<b>OBS</b>	<b>MEAN</b>	<b>STD. DEV.</b>	<b>MIN</b>	<b>MAX</b>
<b>CO<sub>2</sub></b>	198	0,0717	0,1079	0,0002	0,3706
<b>VAB</b>	198	0,0639	0,0434	0,0038	0,1765
<b>VAB<sup>2</sup></b>	198	0,0060	0,0073	0	0,0311
<b>VAB<sup>3</sup></b>	198	0,0007	0,0011	0	0,0055
<b>I&amp;D</b>	198	0,0810	0,1356	0	0,6592
<b>PI&amp;D</b>	198	0,0804	0,1495	0	0,6767
<b>CE</b>	198	0,1296	0,1702	0	0,4955

Fonte: Elaboração Própria

Com base na tabela 4 podemos observar um conjunto de indicadores (já definidos na tabela 3) relativamente a algumas medidas de avaliação, como é o caso da média, o desvio-padrão, o mínimo e o máximo. Numa análise geral, podemos observar que a variável que apresenta a média mais alta é o CE – Consumo de Energia Elétrica, com o valor de 0,1296. Curiosamente, esta é a mesma variável que apresenta um valor de desvio-padrão também mais elevado, o que significa que existe grande dispersão de dados em torno da sua média amostral.

Visualizando outras variáveis, o Valor Acrescentado Bruto (cúbico) apresenta o valor mais baixo em relação à média mas também é a variável que menor valor de desvio-

padrão apresenta, sendo o mesmo de 0,0011. Relativamente às colunas de mínimos e máximos, a título de curiosidade, os valores de I&D e PI&D são aqueles que apresentam valores mais elevados, e mais elevados desvios-padrão.

A heteroscedasticidade apresenta-se como uma forte dispersão de dados em torno de uma reta/ de um modelo econométrico regredido, ou seja, uma distribuição de frequências em que todas as distribuições condicionadas têm desvios padrão diferentes. No sentido contrário, a homoscedasticidade acontece quando existe a observação do postulado, ou seja, quando os dados regredidos encontram-se mais homogeneamente e menos dispersos em torno de uma reta ou modelo econométrico. Para podermos detetar este tipo de fenómenos, recorreremos ao Teste de Breusch-Pagan (teste residual), cujos resultados são apresentados na tabela 5.

Tabela 5 – Resultados do teste Breusch – Pagan

<b>Modelo 1</b>	<b>Modelo 2</b>	<b>Modelo 3</b>	<b>Modelo 4</b>
chi2(1) = 204,63	chi2(1) = 198,12	chi2(1) = 20,95	chi2(1) = 15,78
Prob > chi2 = 0,0000	Prob > chi2 = 0,0000	Prob > chi2 = 0,0000	Prob > chi2 = 0,0001

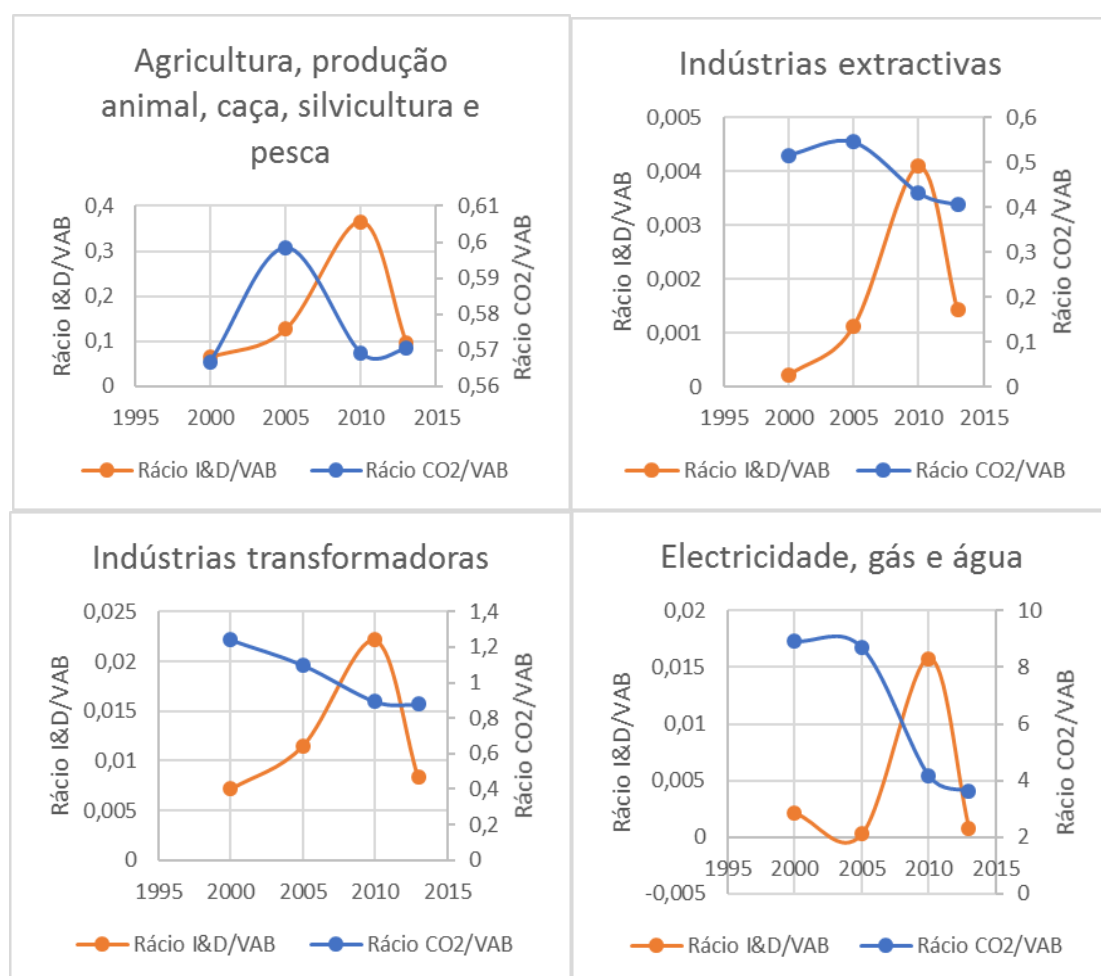
Fonte: Elaboração Própria

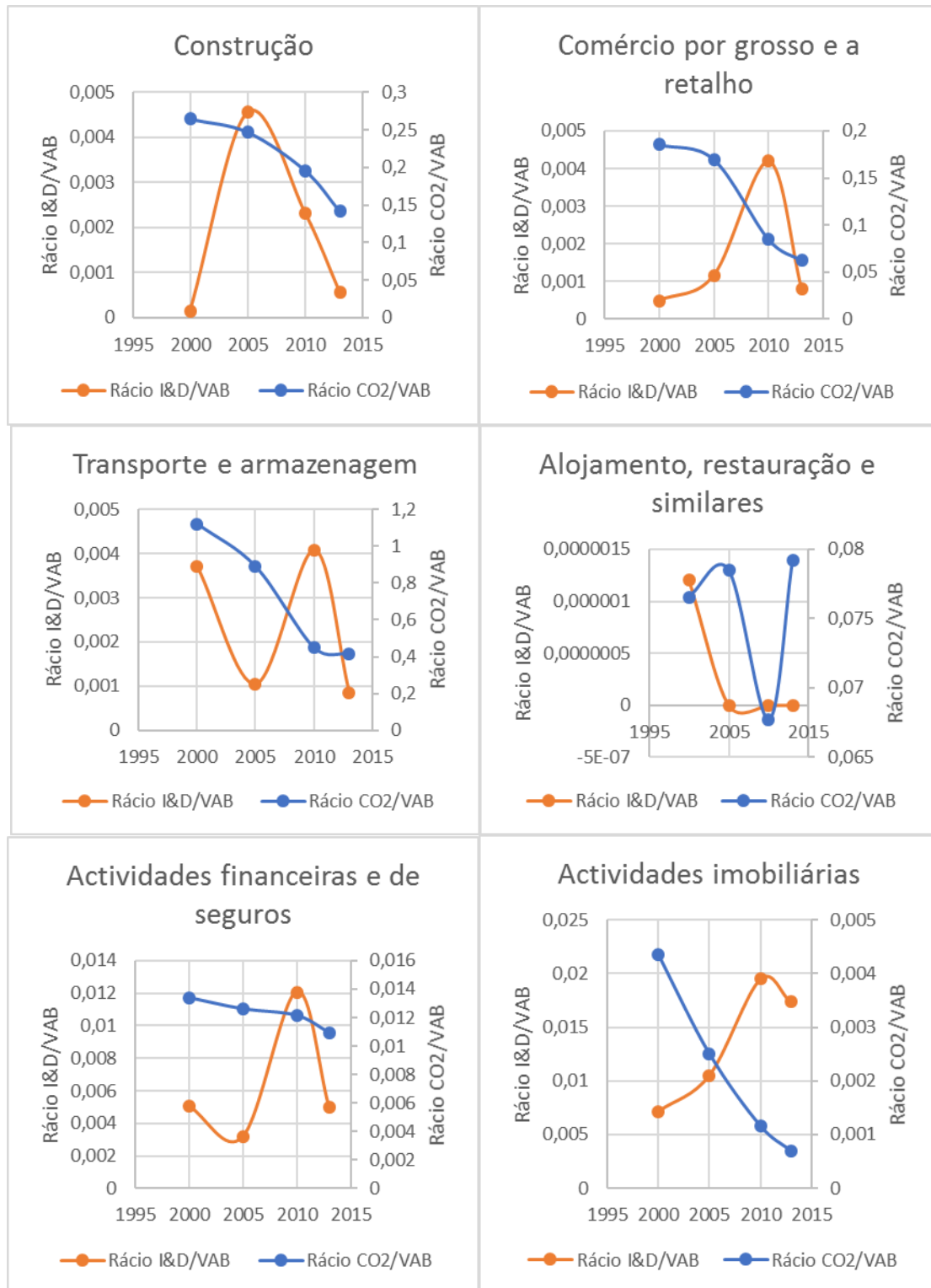
O nosso modelo é testado quanto à heteroscedasticidade, usando para esse efeito o teste de Breusch-Pagan tal como outros autores (Özokcu e Özdemir, 2017; Pal e Mitra, 2017; Alshehry e Belloumi, 2017). Baseado no teste multiplicador de Lagrange, o teste de Breusch-Pagan utiliza-se para testar a hipótese nula de que as variâncias dos erros são iguais (homoscedasticidade), face à hipótese alternativa de que as variâncias dos erros são uma função multiplicativa de uma ou mais variáveis, sendo que esta(s) variável(eis) pode(m) pertencer ou não ao modelo em questão, ou seja, existe heteroscedasticidade. Se o p-valeu > 0,05 para um nível de significância de 5% não rejeitamos a hipótese nula de homoscedasticidade. No nosso modelo, rejeitamos a hipótese nula de homoscedasticidade e aceitamos a alternativa, ou seja, existe a presença de heteroscedasticidade.

Antes de avançarmos para os resultados das estimações dos modelos, representamos graficamente a evolução dos rácios CO<sub>2</sub>/VAB versus I&D/VAB para cada um dos setores de atividade económica em análise. Podemos verificar nas figuras 1 e 2

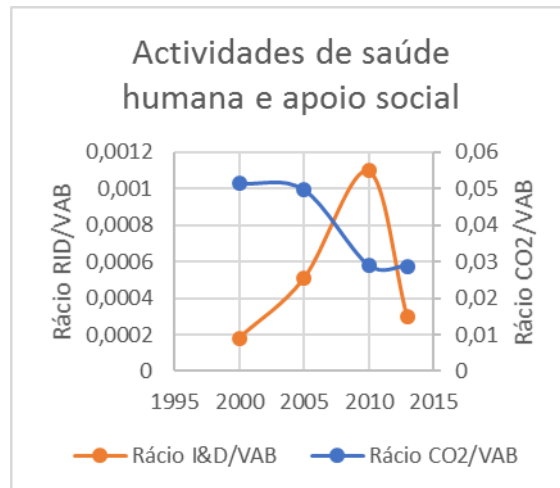
simultaneamente movimentos comuns e díspares quando comparamos os diferentes setores. Na figura 2 confronta-se o rácio  $\text{CO}_2/\text{VAB}$  com o rácio  $\text{PI\&D}/\text{VAB}$  para verificar se existem alterações significativas ou comuns entre a intensidade de emissões ( $\text{CO}_2/\text{VAB}$ ) e a produtividade do trabalho considerando os trabalhadores totais afetos a atividades de I&D.

Figura 1 - Comparação dos rácios I&D/VAB e  $\text{CO}_2/\text{VAB}$ , entre 2000 e 2013, nos 11 setores de atividade económica de Portugal









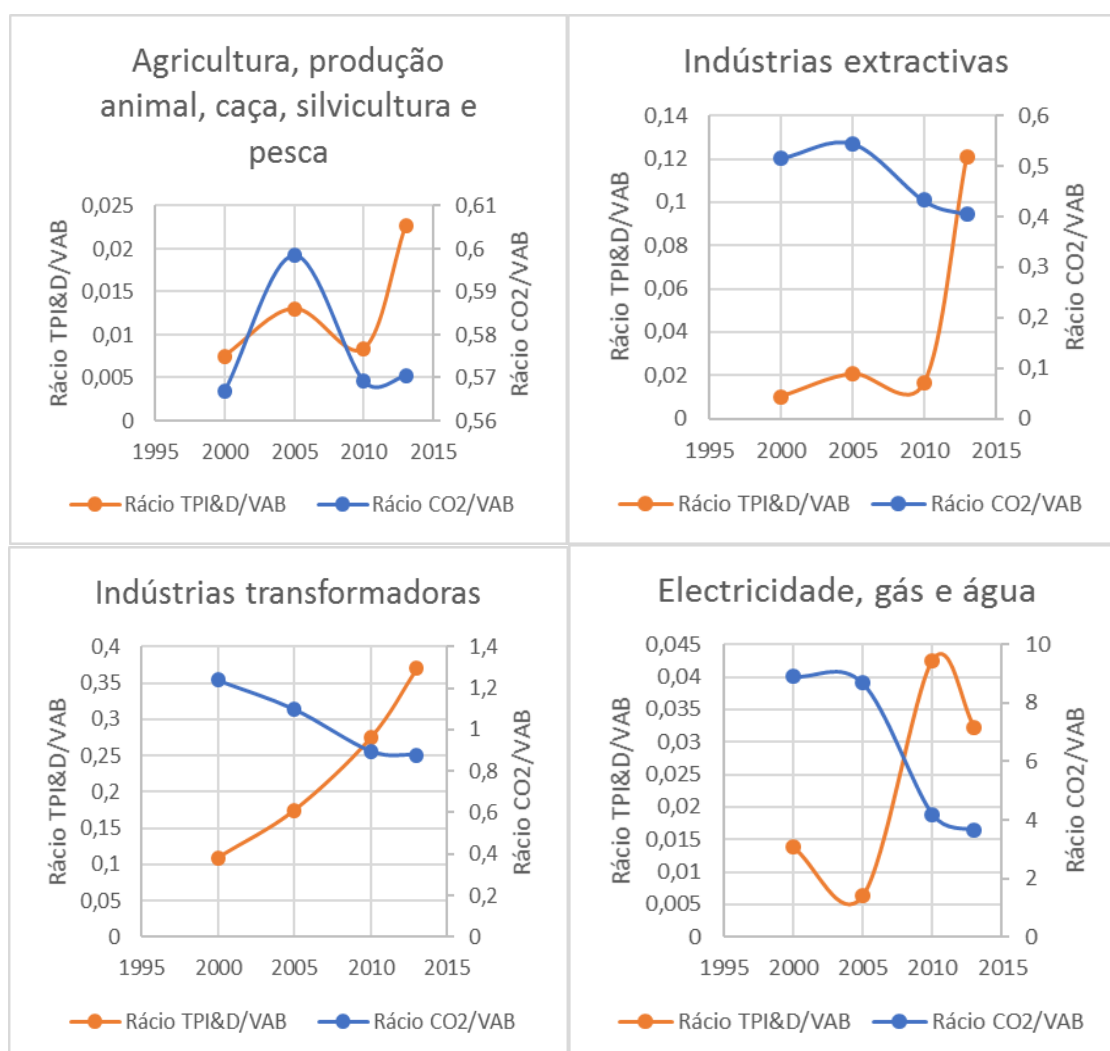
Fonte: Elaboração Própria

No conjunto de imagens da figura 1 estão representadas, para todos os 11 setores de atividade utilizados neste trabalho, dois rácios entre os indicadores utilizados, sendo neste caso o I&D/VAB e CO<sub>2</sub>/VAB. Desta forma podemos observar o comportamento destes dois rácios e variáveis nos diversos setores de atividade e retirar conclusões sobre a evolução das mesmas, ao longo do período de tempo em análise (1996 – 2013). De um modo geral podemos afirmar que o efeito I&D permite atenuar o efeito das emissões. Através dos setores da agricultura, produção animal, caça, silvicultura e pesca; eletricidade, gás e água ou até mesmo no setor das atividades imobiliárias e atividades de saúde humana e apoio social, no qual existe uma clara relação inversa entre os dois rácios, podemos observar que um maior nível de emissões de CO<sub>2</sub> ocorre quando existe uma menor aposta na I&D.

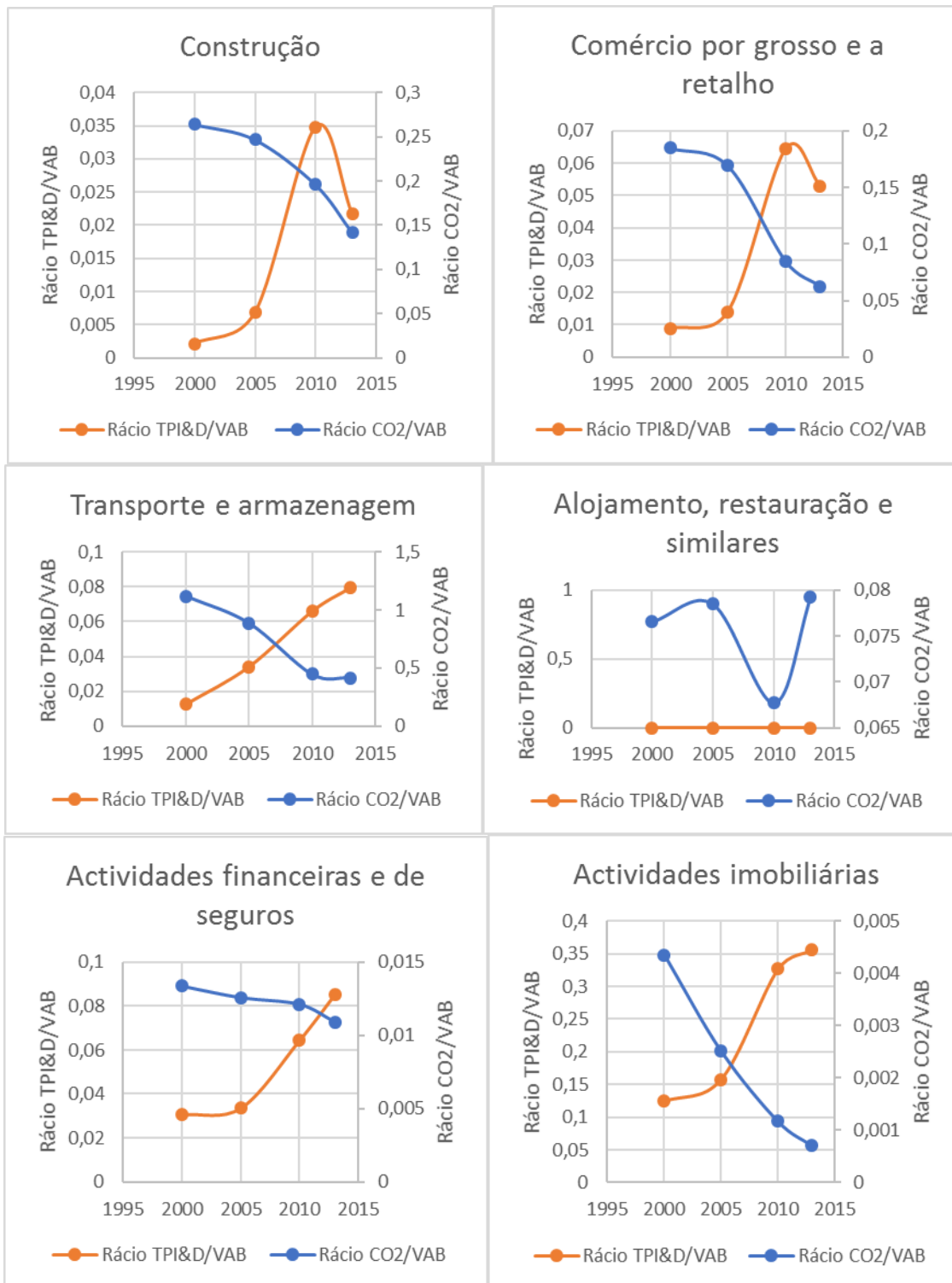
Todavia existem alguns setores que merecem a nossa particular atenção por esta relação não se aplicar bem assim. Por exemplo, no caso do setor da construção, numa primeira fase o maior aumento de I&D permite atenuar as emissões de gases com efeito de estufa mas, numa fase posterior, existe uma quebra na aposta em I&D e não existe um retorno de aumento de emissões. Isto pode acontecer devido ao efeito da inovação (ou neste caso, na menor aposta neste indicador) não praticar efeitos logo no imediato. Este mesmo processo ocorre no setor de comércio por grosso e a retalho. Por último, é de destacar o comportamento do setor de transporte e armazenagem, no qual existe uma clara quebra das emissões de CO<sub>2</sub>, tendo como uma possível justificação o facto de já

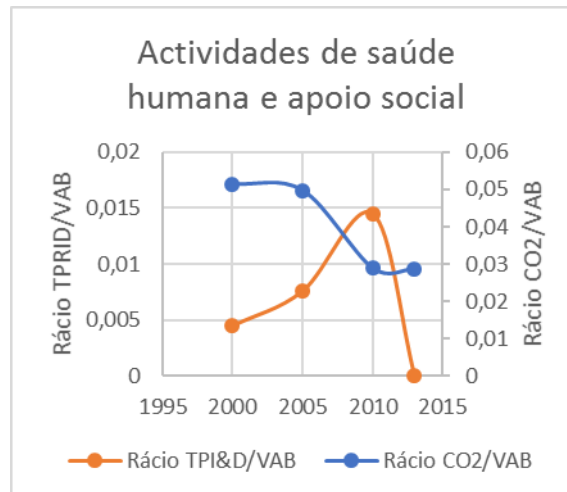
há algum tempo as energias renováveis serem uma clara aposta neste setor de atividade, podendo produzir este comportamento.<sup>5</sup> O setor que apresenta uma tendência de maior subida de emissões, como podemos observar, é o setor de alojamento, restauração e similares, onde o efeito de I&D não tem sido uma aposta forte, indo no sentido contrário do que referem Vukina et al. (1999) em que uma maior abertura e reestruturação das economias, e por sua vez, a privatização das empresas, tem influenciado a afetação de recursos e desta forma atinge-se setores mais limpos e eficientes.

Figura 2 - Comparação dos rácios PI&D/VAB e CO<sub>2</sub>/VAB, entre 2000 e 2013, nos 11 setores de atividade económica de Portugal



<sup>5</sup> <http://www.aler-renovaveis.org/pt/comunicacao/noticias/a-ren21-publica-relatorio-da-situacao-global-das-energias-renovaveis-2016--um-ano-recorde-para-as-energias-renovaveis/>





Fonte: Elaboração Própria

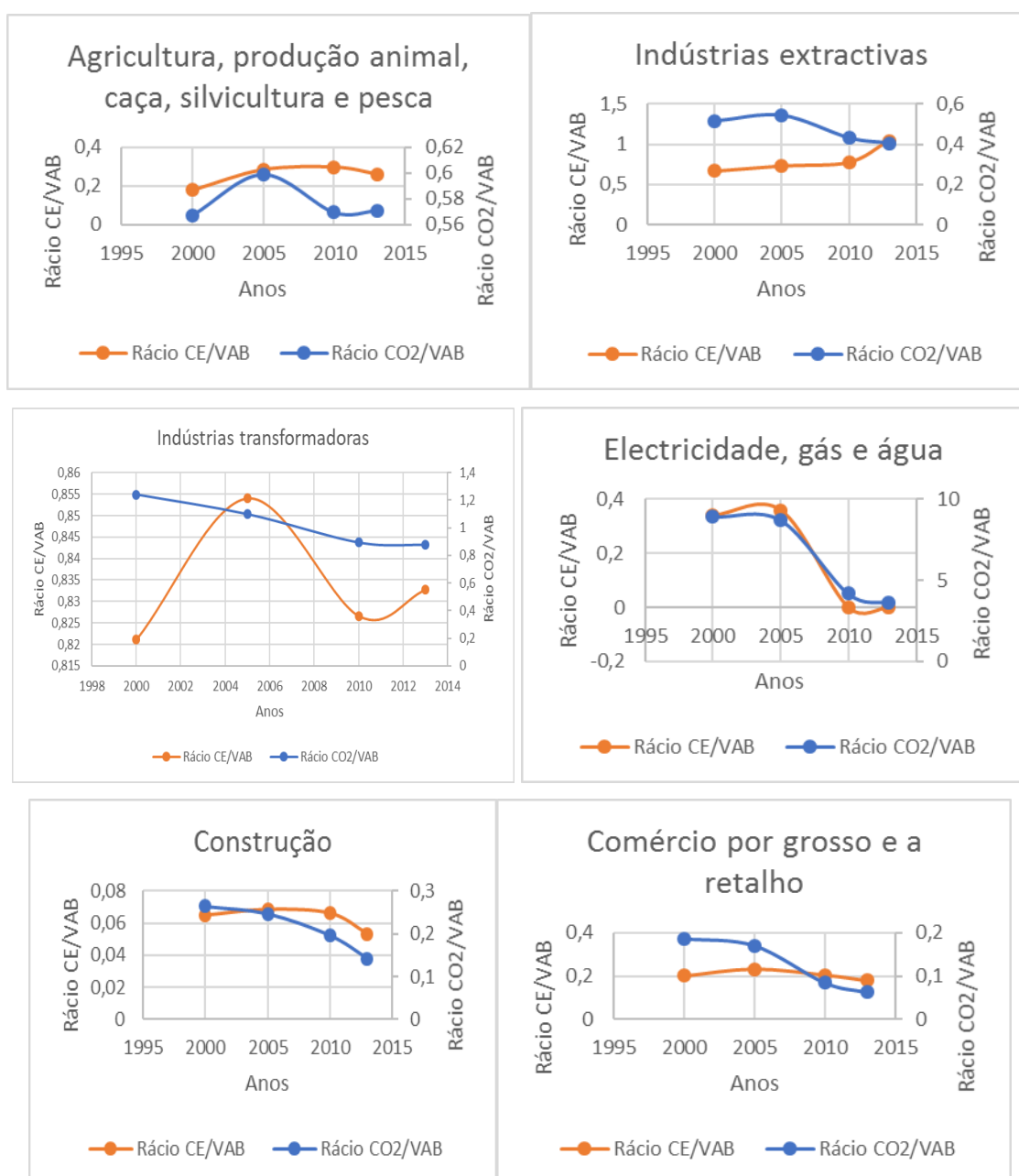
Neste conjunto de gráficos que compõem a figura 2 podemos observar igualmente algumas relações entre alguns indicadores utilizados nos modelos, sendo neste caso a relação entre PI&D/VAB (total de pessoal a trabalhar em Investigação e desenvolvimento sobre Valor acrescentado Bruto) e CO<sub>2</sub>/VAB analisada por setor de atividade económica. De um modo geral, e como será expectável que aconteça, uma maior aposta em trabalhadores em departamentos de I&D permite apurar melhores processos de produção, melhores inovações para introduzir quer em processos de produção quer mesmo no produto final, havendo desta forma uma maior poupança dos recursos e por sua vez um maior cuidado por parte das emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Neste ponto, quase em todos os setores de atividade podemos observar esta relação inversa entre emissões de CO<sub>2</sub> e o total de pessoal a trabalhar neste tipo de departamentos.

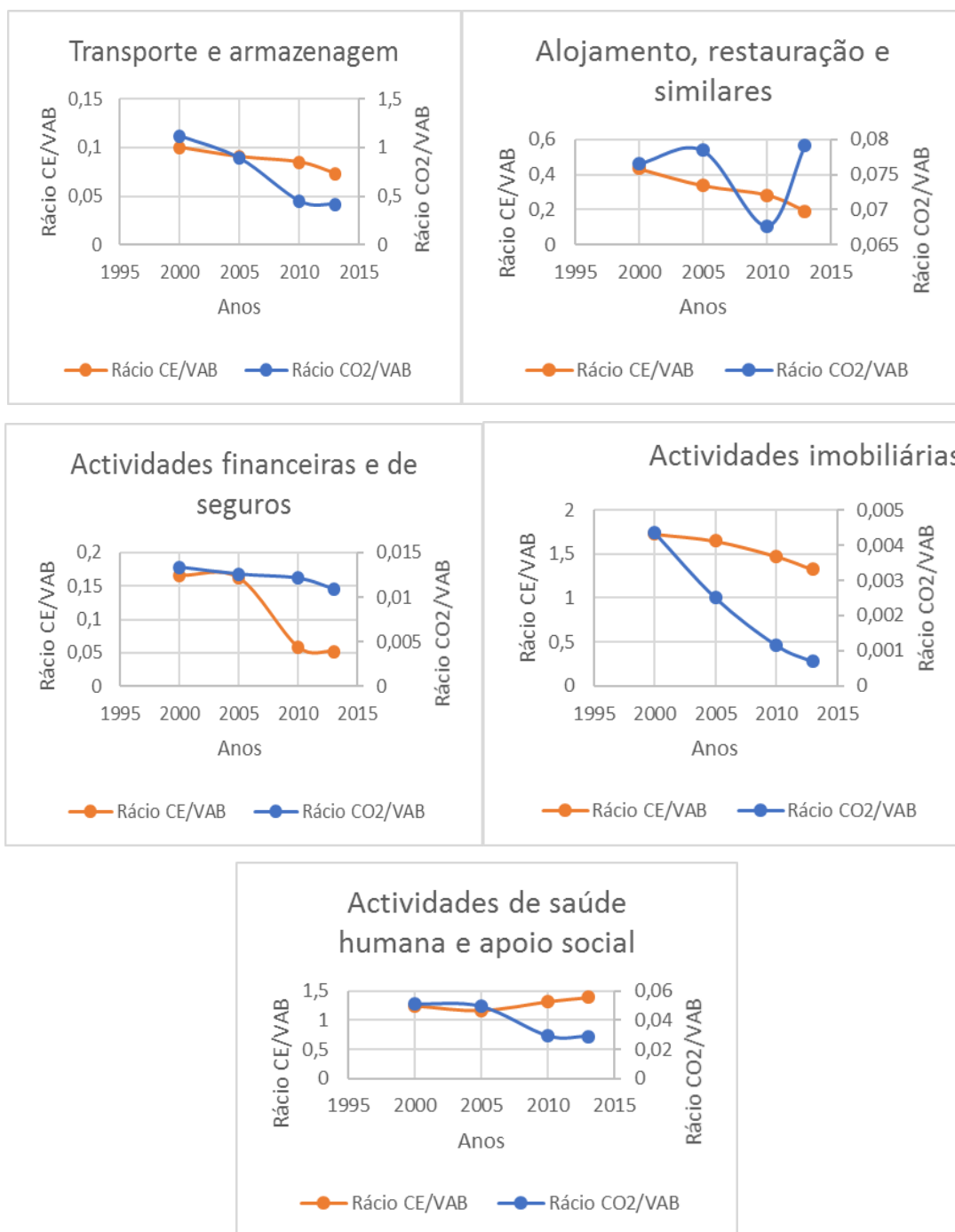
Porém, existem duas situações em que acontece algo mais notório, em que existe uma quebra de emissões de CO<sub>2</sub> à medida que aumenta o peso da variável PI&D/VAB mas, nos últimos anos esta última variável tem perdido força. Isto acontece tanto no setor da construção como no setor das atividades de saúde humana e apoio social. Por último, no setor de alojamento, restauração e similares, assistimos novamente a maiores emissões de gases de efeito de estufa e, a juntar a isto, existe uma reduzida aposta no pessoal qualificado para os departamentos de I&D.

Para terminar a análise das variáveis a estudar no presente trabalho, na figura 3 apresentamos a evolução dos rácios consumo de energia por unidade de output (CE/VAB) e intensidade de emissões por setor de atividade económica. Assim

conseguimos perceber a evolução do efeito da intensidade de consumo energético e quando aumenta significa que o país está a usar mais energia para consumo por unidade produzida. Se aliado ao aumento da intensidade de emissões, significa que um maior consumo de energia provoca um aumento das emissões.

Figura 3 – Comparação dos rácios CE/VAB e CO<sub>2</sub>/VAB, entre 2000 e 2013, nos 11 setores de atividade económica de Portugal





Fonte: Elaboração Própria

Na figura 3 podemos observar a relação dos indicadores consumo de energia elétrica (CE) com o VAB e o CO<sub>2</sub>, obtendo dois rácios para este efeito: CE/VAB e CO<sub>2</sub>/VAB. Assim, no comportamento geral dos 11 setores de atividade assistimos a uma relação direta entre estes dois rácios, isto é, à medida que o consumo de energia elétrica vai diminuindo o nível de emissões de CO<sub>2</sub> também vai seguindo este comportamento.

Porém, existem alguns casos especiais. O mais grave e o único em que as emissões de CO<sub>2</sub> apresentam um comportamento ascendente acontece no setor do alojamento, restauração e similares, em que ao longo dos anos o consumo de energia elétrica vai sendo menor e assistimos, nos últimos tempos a um retorno crescente no rácio CO<sub>2</sub>/VAB. Também existe outro comportamento que devemos ter em atenção, que acontece nos setores de indústrias extrativas e no setor de atividades de saúde humana e apoio social, em que o consumo de energia face ao crescimento do setor tem vindo a apresentar um comportamento crescente e a libertação de gases CO<sub>2</sub> tem apresentado o comportamento inverso. Isto pode resultar de uma clara aposta tecnológica destes setores de atividade, no qual exista uma maior aposta em energias renováveis, por exemplo, que permita que estes comportamentos, embora inversos, apresentem resultados positivos, uma vez que o nível de emissões tem vindo a decrescer (apesar de uma forma mais lenta) ao longo do período de tempo analisado.

É possível assim verificar que independentemente do conjunto de rácios confrontados para se perceber a evolução temporal dos mesmos para cada um dos setores de atividade económica, existem claras diferenças que precisam de ser consideradas aquando da análise da hipótese EKC. Na secção seguinte apresentam-se os resultados obtidos por estimação dos modelos 1 a 8, apresentados anteriormente.

#### 4.2 Escolhas Entre efeitos Fixos e Efeitos Aleatórios

Através da realização do teste de Hausman conseguimos perceber quais os melhores efeitos para os modelos apresentados. Quando o “*p-value*” < 0,05 (para um nível de significância de 5%) então rejeitamos H0 e aceitamos H1<sup>6</sup>, ou seja, serão os efeitos fixos os a usar. Se “*p-value*” > 5% então aceitamos H0 e rejeitamos H1, ou seja, serão os efeitos aleatórios os efeitos escolhidos. No nosso caso, em todos os modelos o “*p-value*” apresentou valores superiores a 5% (com exceção do modelo 3), pelo que escolhemos os efeitos aleatórios como os mais viáveis para a nossa análise (consultar a tabela 6 para os resultados obtidos). No caso do modelo 3, 7 e 8, o valor apresenta-se negativo muito provavelmente devido às limitações da base de dados, pois a base de dados não é muito grande (anos entre 1996 e 2013).

Tabela 6 – Teste Hausman: resultados nos modelos estudados empiricamente

	<b>Resultados dos Testes</b>	<b>Probabilidades</b>
<b>Modelo 1 e 5</b>	chi12(5) = 0,00	Prob>chi2 = 1,0000
<b>Modelo 2 e 6</b>	chi12(4) = 0,00	Prob>chi2 = 1,0000
<b>Modelo 3, 7 e 8</b>	chi12(5) = - 0,00	chi2<0
<b>Modelo 4</b>	chi12(6) = 0,00	Prob>chi2 = 1,0000

Avançamos agora na nossa análise ao evidenciar os resultados obtidos considerando inicialmente os resultados dos modelos de 1 a 4, com a inovação sem considerar o efeito desfasado seguindo o raciocínio de Balin e Akan (2015), cujos resultados se apresentam na tabela 7. Com base na tabela 7 verifica-se que existem alguns modelos que apresentam sinais dos coeficientes que merecem a nossa particular atenção. Começando a análise pelo modelo 1 podemos reparar que os indicadores apresentam os sinais esperados à exceção do indicador I&D que apresenta um sinal positivo (o esperado seria: quanto mais inovações e novas tecnologias mais facilmente se combatem as emissões de CO<sub>2</sub>, ou seja, esperava-se que estas variáveis tivessem uma relação inversa). Todavia, não é este o cenário apresentado.

---

<sup>6</sup> H0:  $\beta_0$  não é correlacionado com as variáveis explicativas; H1:  $\beta_1$  é correlacionado com as variáveis explicativas; Se H0 for aceite não há evidências que  $\beta_0$  seja correlacionada com as variáveis explicativas,



Este resultado inesperado pode ser explicado pela natureza dos dados de I&D que são usados no modelo. Os dados disponíveis contêm todas as inovações e tecnologias dos residentes que foram registadas, não apenas as inovações de cariz ambiental. Para além disso, o *p-value* não é estatisticamente significativo.

Ainda no mesmo modelo económico podemos constatar que as *dummy* de dois setores analisados apresentam sinais negativos, sendo eles o setor das Indústrias extrativas e das atividades de saúde humana e apoio social. Contudo os valores não são estatisticamente significativos para nenhum dos níveis de relevância mencionados em cima. Porém, existem setores de atividade cujo coeficiente associado revelou que têm impacto significativo em CO<sub>2</sub> (no modelo 1), sendo eles: Agricultura, produção animal, caça, silvicultura e pesca; Indústrias transformadoras, Eletricidade, gás e água; Construção; e Transporte e armazenagem.

Perante os valores estatisticamente significativos dos coeficientes  $\beta$  associados às variáveis VAB e VAB<sup>2</sup>, podemos afirmar que a hipótese EKC aqui verificada é de uma curva em forma de U.

No caso do modelo 2 podemos observar algo muito importante e que vai de encontro à literatura (Balin e Akan, 2015; Vukina et al., 1999): o comportamento, em forma de N-Shape entre as emissões de CO<sub>2</sub> e o VAB. Quer isto dizer que, segundo este modelo existem três pontos fulcrais: no início as empresas/setores tendem a ter uma menor preocupação com a vertente ambiental e não-poluidora. Numa segunda fase existe uma preocupação em reduzir esse impacto negativo; e numa última fase, com bases já sólidas voltam a produzir um conjunto de bens e serviços e a descartar para segundo plano o efeito das emissões de CO<sub>2</sub> no ambiente em seu redor. No que diz respeito aos sinais dos coeficientes, volta a ser não esperado o sinal do indicador I&D, sendo que a mesma explicação do modelo 1 serve para este caso e o *p-value* apresenta-se como estatisticamente insignificante. Todavia, os coeficientes associados ao total de pessoas afetadas à I&D em ambos os modelos 1 e 2 revelaram-se estatisticamente significativos e negativos como era expectável.

---

logo devemos utilizar o modelo de efeitos aleatórios. Se se aceitar H1, então devemos utilizar o modelo de efeitos fixos.

Tabela 7 – Quadro resumo dos resultados nos diferentes modelos

		<b>MODELO 1</b>	<b>MODELO 2</b>	<b>MODELO 3</b>	<b>MODELO 4</b>
<b>VAB</b>	Coef.	-0.6067**	0.7905	0.1792*	0.2693**
	Z	-2.57	1.43	1.74	2.23
<b>VAB<sup>2</sup></b>	Coef.	4.555***	-13.6574*	-0.0551	-0.1332*
	Z	4.46	-2.06	-1.01	-1.72
<b>VAB<sup>3</sup></b>	Coef.	--	6.1427***	--	-0.0428
	Z	--	2.78	--	-1.42
<b>I&amp;D</b>	Coef.	0.0141	0.0125	0.03***	0.029***
	Z	0.72	0.65	3.17	3.06
<b>PI&amp;D</b>	Coef.	-0.0385**	-0.0263*	-0.0385***	-0.0379***
	Z	-2.5	-1.67	-3.45	-3.41
<b>CE</b>	Coef.	0.0305	0.067	-0.0413*	-0.041*
	Z	0.7	1.5	-1.79	-1.78
<b>D1</b>	Coef.	0.0303*	0.0505***	1.2037***	1.2728***
	Z	1.77	2.76	10.58	10.3
<b>D2</b>	Coef.	-0.0095	0.031	-0.1425	-0.0266
	Z	-0.52	1.35	-0.41	-0.07
<b>D3</b>	Coef.	0.2853***	0.3048***	3.3096***	3.3795***
	Z	21.52	20.62	23.88	23.02
<b>D4</b>	Coef.	0.2703***	0.2956***	3.3946***	3.5109***
	Z	15.56	15.29	27.28	23.61
<b>D5</b>	Coef.	0.0327*	0.0495**	0.8910***	0.8867***
	Z	1.73	2.54	8.36	8.34
<b>D6</b>	Coef.	0.0146	0.0508**	1.1137***	1.1762***
	Z	0.67	2.04	7.76	7.85
<b>D7</b>	Coef.	0.0748***	0.0903***	1.8545***	1.8778***
	Z	4.2	4.94	17.37	17.44
<b>D8</b>	Coef.	0.0072	0.0212	-0.3648***	-0.3499***
	Z	0.44	1.26	-4.28	-4.08
<b>D9</b>	Coef.	0.0042	0.0198	-2.0242***	-2.0283***
	Z	0.23	1.04	-20.88	-20.97
<b>D10</b>	Coef.	-0.0048	0.0005	-3.2821***	-3.2792***
	Z	-0.76	0.08	-39.05	-39.11
<b>CONS.</b>	Coef.	0.0173	-0.0301	-4.6570***	-4.0880***
	Z	0.92	-1.2	-74.75	-45.27
		<b>R<sup>2</sup> = 0.2573</b>	<b>R<sup>2</sup> = 0.2878</b>	<b>R<sup>2</sup> = 0.0947</b>	<b>R<sup>2</sup> = 0.1046</b>
		<b>Wald chi2(15) = 21195.07</b>	<b>Wald chi2(16) = 21988.85</b>	<b>Wald chi2(15) = 20600.43</b>	<b>Wald chi2(16) = 20717.17</b>
		<b>Prob &gt; chi2 = 0.0000</b>	<b>Prob &gt; chi2 = 0.0000</b>	<b>Prob &gt; chi2 = 0.0000</b>	<b>Prob &gt; chi2 = 0.0000</b>

Fonte: Elaboração Própria. Nota: Os coeficientes com (\*) têm significância de 10%; com (\*\*) têm significância de 5%; e por fim, com (\*\*\*) são os coeficientes que têm significância de 1%.

No que diz respeito aos setores de atividade propriamente ditos, existem setores de atividade cujo coeficiente associado às *dummies* sugerem impacto significativo no modelo 2, sendo eles: Agricultura, produção animal, caça, silvicultura e pesca; Indústrias transformadoras, Eletricidade, gás e água; Construção; Comércio por grosso e a retalho; e Transporte e armazenagem. Comparativamente com o modelo 1, existe mais um setor onde podemos afirmar que a relação em forma de N é verificada, que é o setor do comércio por grosso e a retalho (d6).

No modelo 3 existe grande semelhança do que aconteceu nos outros modelos já avaliados, sendo que o indicador do Consumo de Energia Elétrica apresenta um sinal de coeficiente negativo, tal como no modelo 4, significativo apenas nestes dois modelos. Isto acontece devido ao crescente uso de energia renovável (como se pode observar na figura 4, mais abaixo) o que permite concluir que um maior consumo de energia elétrica não simboliza necessariamente um maior número de emissões de CO<sub>2</sub> se forem adotadas as medidas necessárias para combater o uso excessivo de combustíveis fósseis, ou seja, pode também representar que as medidas de substituição de fontes de energia fóssil por energia renovável estão a ser uma realidade verificando-se também uma diminuição da dependência fóssil a nível setorial. Neste modelo 3 e para os setores onde os coeficientes se revelam significativos não podemos confirmar a relação de U invertido pois o coeficiente associado ao VAB é estatisticamente significativo e apresenta o sinal esperado, mas o coeficiente associado ao VAB<sup>2</sup> apesar de apresentar o sinal esperado não é estatisticamente significativo.

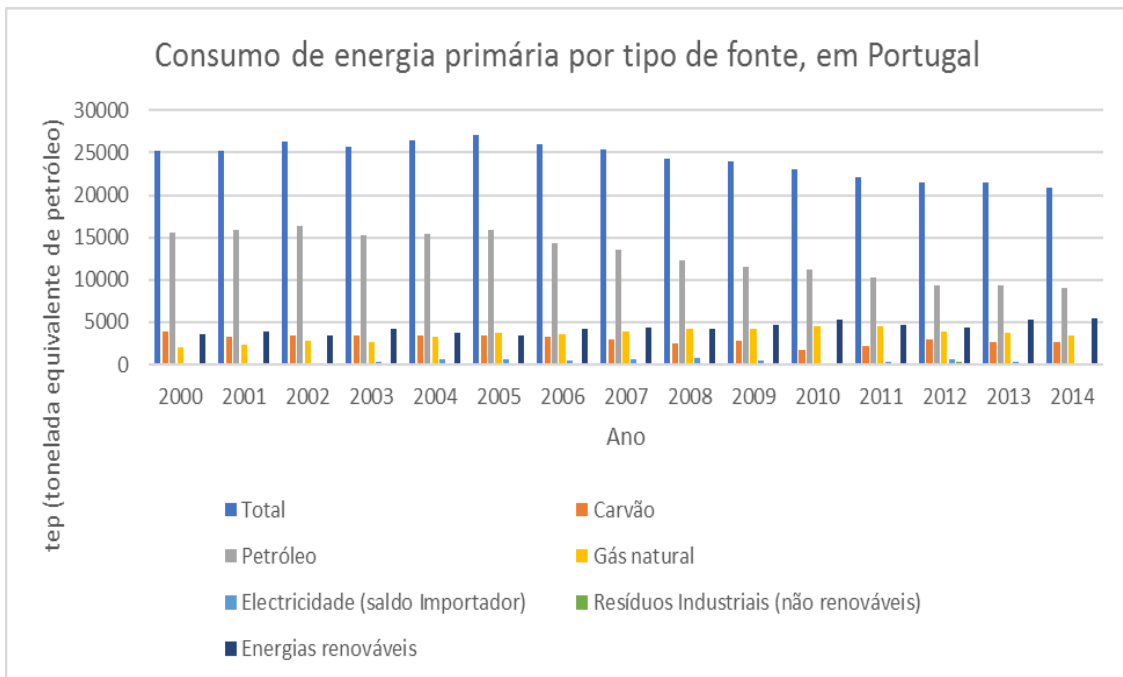
O modelo 4 apresenta o comportamento da hipótese EKC na forma de “U invertido”, tal como foi enunciado em autores como Balin e Akan (2015), Grossman e Krueger (1995), Panayotou (1993). Relativamente à análise de quais os setores que cujos coeficientes associados revelam influência neste modelo 4, podemos observar que apenas o setor das indústrias extrativas não apresenta impacto significativo no modelo apresentado. Todos os outros setores de atividade, positivamente ou negativamente, apresentam impacto para os diversos níveis de significância.

Conseguimos perceber também, ou pelo menos inferir dos resultados obtidos, quais os setores de atividade que estão a reduzir o nível de emissões de CO<sub>2</sub> em Portugal, entre

1996 e 2013: atividades financeiras e de seguros; atividades imobiliárias; e atividades de restauração, alojamento e similares (quer no modelo 3 quer no modelo 4).

Para terminar a nossa análise, podemos observar os  $R^2$  no qual se indica, em percentagem, o quanto um modelo consegue explicar os valores observados, sendo que, quanto maior este elemento estatístico, mais explicativo é o modelo, ou seja, melhor ele se ajusta à nossa amostra. Com base nisto, podemos observar que os modelos 1 e 2 apresentam um  $R^2$  relativamente próximo, sendo que cerca de 30% da variável dependente consegue ser explicada pelos regressores presentes no modelo. De seguida surge o modelo 4 que consegue explicar 10,46% dos resultados e por último o modelo 3 que explica quase 10%. Quer isto dizer que nenhum dos modelos tem grande capacidade explicativa para os resultados apresentados (estão longe do valor 100%) e poderá indicar que outras variáveis poderão ser necessárias de incluir para explicar melhor esta relação.

Figura 4 – Consumo de energia primária, por tipo de fonte, em Portugal



Fonte: Pordata; Elaboração Própria

Comparando estes resultados com os de outros autores, podemos constatar que existe aqui a presença de dois fenómenos diferentes: o comportamento da Hipótese EKC com os comportamentos em “N-Shape” (modelo 2) e “U-invertido” (modelo 4), ao contrário

do que acontece nos artigos de base que serviram de mote a este trabalho (Balin e Akan, 2015; Moutinho et al., 2017), no qual chegou-se à conclusão da existência do comportamento em forma de “N-shape” para a amostra selecionada. Podemos então concluir daqui, que as diferentes especificações de modelos adotadas (considerando variáveis centradas como nos modelos 3 e 4) influenciam a decisão sobre o formato adotado da hipótese EKC.

A nível de setores de atividade que mais influenciam (significativamente e positivamente, para os três níveis de significância utilizados) nos modelos 2 e 4 são: Agricultura, produção animal, caça, silvicultura e pesca; Indústrias transformadoras; Eletricidade, gás e água; Construção; Comércio por grosso e a retalho; Transporte e armazenagem. Para além disso, no modelo 4 existem três setores que apresentam uma influência significativa no qual os resultados parecem indicar que se permite reduzir o nível de emissões de CO<sub>2</sub>, sendo eles: Alojamento, restauração e similares; Atividades financeiras e de seguros; Atividades imobiliárias, significando isto um grande contributo na literatura sobre esta temática, para o estudo de caso português. Aquando da apresentação das figuras 1, 2 e 3 foi possível verificar que de 2010 até 2013 houve um aumento do rácio CO<sub>2</sub>/VAB que pode ser justificado pelo aumento exponencial que ocorreu no nosso país em termos do setor do turismo (WTTC, 2017) e pode também indicar que a política energética não foi capaz de acompanhar esta evolução no setor do turismo, pelo menos de 2010 em diante.

Em termos de implicações políticas, podemos observar quais os setores de atividade que têm desempenhado um papel importante no combate ao aumento das emissões de gases de CO<sub>2</sub>. Nos modelos 1, 3 e 4 podemos observar que, embora não tenha um peso significativo, o setor das indústrias extrativas tem um sinal negativo nos seus resultados, o que quer dizer que esta indústria tem exercido uma performance de redução de emissões. Se nos focarmos no modelo 3, podemos reparar que os setores de alojamento, restauração e similares, as atividades financeiras e de seguros e atividades imobiliárias tem um papel fundamental, tendo a política sectorial destas áreas produzido bons desempenhos e contribuído para a redução de emissões. No entanto, a nível de política ambiental/ecológica, ainda muito está por fazer, sobretudo em setores mais tradicionais como a agricultura, caça, pescas e silvicultura; setor da construção, ou até mesmo do comércio por grosso e a retalho que tem produzido resultados nada favoráveis para o objetivo ecológico pretendido.

Para além disso, conclui-se que as emissões de CO<sub>2</sub> não vão desaparecer de forma automática com o simples crescimento económico dos setores de atividade em Portugal, pelo contrário, quase todos os setores (aqui analisados) mostram-nos que existe uma tendência de cenário contrário ao (ambientalmente) esperado. Uma maior consciencialização e melhores políticas sectoriais devem ser incutidas e bem delineadas para o médio-longo prazos de forma a inverter a tendência que ocorre, por exemplo no modelo 2.

Atendendo agora ao facto de que os dados obtidos em termos do impacto da inovação na relação EKC não foi o mais adequado, ou pelo menos o esperado em termos de sinal dos coeficientes obtidos aquando da implementação empírica dos modelos 1 a 4, testamos agora se por ventura os efeitos desfasados de I&D sobre esta relação estão a exercer impacto ou não. Para o efeito aplicamos os modelos 5 a 8 cujos resultados estão apresentados na tabela 8.

Na tabela 8 podemos verificar que apenas no modelo 5 podemos agora validar uma curva na forma de U, sendo que em nenhum outro modelo podemos confirmar as relações anteriormente obtidas de forma de N ou de U invertido. É também somente neste modelo 5 que o efeito desfasado a dois períodos (2 anos) da I&D revela um coeficiente negativa e estatisticamente significativo tal como esperado, mas agora o total de pessoas afetas a I&D é apenas relevante para explicar as relações entre as variáveis nos modelos 7 e 8. Todavia, os sinais de coeficientes obtidos associados à I&D, desfasada um período, vão de encontro aos sinais esperados por serem negativos apesar de não serem estatisticamente significativos.

Relativamente ao consumo de energia verifica-se que somente nos modelos 7 e 8 esta variável apresenta o sinal negativo e estatisticamente significativo, o que vem evidenciar uma vez mais que o consumo de energia não tem necessariamente de conduzir a aumentos de emissões e que provavelmente as políticas ambientais estão a ser bem adotadas quer a nível nacional quer a nível setorial, no que respeita à substituição de fontes de energia fóssil por energia renovável. Curiosamente, sob as especificações dos modelos 7 e 8 todos os setores evidenciam um coeficiente significativo à exceção do setor das indústrias extrativas. Os mesmos setores que eram significativos sob o modelo 1 revelam-se também no modelo 5 estatisticamente significativos e com os mesmos sinais positivos.

Tabela 8 – Quadro resumo dos resultados nos diferentes modelos com efeitos desfasados da inovação

		<b>Modelo 5</b>	<b>Modelo 6</b>	<b>Modelo 7</b>	<b>Modelo 8</b>
<b>VAB</b>	Coef.	-0.4897**	0.4411	0.1609	0.2585**
	Z	-2.1	0.78	1.5	2.02
<b>VAB2</b>	Coef.	3.9574***	-8.3768	-0.0194	-0.1028
	Z	3.92	-1.21	-0.35	-1.26
<b>VAB3</b>	Coef.	--	4.2087*	--	-0.0438
	Z	--	1.81	--	-1.39
<b>I&amp;D T-1</b>	Coef.	-0.0138	-0.0109	-0.0002	-0.0007
	Z	-0.79	-0.63	-0.02	-0.09
<b>I&amp;D T-2</b>	Coef.	-0.0356*	-0.0281	0.0097	0.0077
	Z	-1.74	-1.36	1.18	0.93
<b>PI&amp;D</b>	Coef.	-0.0042	-0.0021	-0.0207**	-0.0203**
	Z	-0.25	-0.13	-2.15	-2.12
<b>CE</b>	Coef.	0.0302	0.0551	-0.0406*	-0.0404*
	Z	0.71	1.24	-1.71	-1.71
<b>d1</b>	Coef.	0.0318*	0.0452**	1.1708***	1.2427***
	Z	1.91	2.49	10.08	9.79
<b>d2</b>	Coef.	-0.0055	0.0212	-0.3665	-0.2235
	Z	-0.31	0.92	-1.01	-0.59
<b>d3</b>	Coef.	0.2957***	0.3071***	3.3109***	3.3844***
	Z	22.35	21.04	23.27	22.34
<b>d4</b>	Coef.	0.2738***	0.2903***	3.3749***	3.5002***
	Z	16.09	15.1	26.07	22.21
<b>d5</b>	Coef.	0.0328*	0.0443**	0.9053***	0.8979***
	Z	1.78	2.28	8.25	8.19
<b>d6</b>	Coef.	0.0150	0.0395	1.1029***	1.1658***
	Z	0.71	1.58	7.49	7.59
<b>d7</b>	Coef.	0.0766***	0.0867***	1.8650***	1.8887***
	Z	4.42	4.78	17.05	17.1
<b>d8</b>	Coef.	0.0075	0.0170	-0.3794***	-0.3629***
	Z	0.47	1.02	-4.34	-4.12
<b>d9</b>	Coef.	0.0078	0.0178	-1.9910***	-1.9954***
	Z	0.43	0.95	-20.11	-20.2
<b>d10</b>	Coef.	-0.0022	0.0010	-3.2691***	-3.2647***
	Z	-0.35	0.16	-37.83	-37.85
<b>Cons.</b>	Coef.	0.0128	-0.0186	-4.6809***	-4.7013***
	Z	0.7	-0.74	-68.93	-67.83

	<b>R<sup>2</sup> = 0,2959</b>	<b>R<sup>2</sup> = 0,3084</b>	<b>R<sup>2</sup> = 0,0533</b>	<b>R<sup>2</sup> = 0,0634</b>
	<b>Wald chi2(15) = 22241,80</b>	<b>Wald chi2(16) = 22523,44</b>	<b>Wald chi2(15) = 19584,68</b>	<b>Wald chi2(16) = 19686,77</b>
	<b>Prob &gt; chi2 = 0,0000</b>	<b>Prob &gt; chi2 = 0,0000</b>	<b>Prob &gt; chi2 = 0,0000</b>	<b>Prob &gt; chi2 = 0,0000</b>

Fonte: Elaboração Própria. Nota: Os coeficientes com (\*) têm significância de 10%; com (\*\*) têm significância de 5%; e por fim, com (\*\*\*) são os coeficientes que têm significância de 1%.

Assim sendo não validamos a hipótese de Andreoni e Levinson (2001) que afirmam que para atingir uma relação positiva entre a redução de emissões e o crescimento económico é necessário introduzir a inovação. Deste modo, para Portugal e a nível setorial, percebemos que o crescimento económico por si só é insuficiente para resolver os problemas de poluição ambiental, mas talvez outras variáveis para além da inovação possam ser capazes de explicar esta relação (Álvarez-Herranz et al., 2017).

Perante os resultados obtidos, podemos apenas dizer que se a inovação for medida através do total de número de trabalhadores afetos a I&D de facto as inovações tecnológicas e a redução ambiental seguem uma relação estreita, permitindo confirmar os resultados de Balsalobre et al. (2015), Lorente e Álvarez-Herranz (2016) e de Álvarez-Herranz et al. (2017). Este resultado pode ser explicado pelo facto de não ser possível considerar a nível setorial em Portugal a I&D afeta somente ao ambiente devido à inexistência de dados disponíveis para o efeito, mas que deixa em aberto uma possível avenida de pesquisa futura. Até lá não conseguimos por completo validar a hipótese de que o progresso tecnológico reduz as emissões de CO<sub>2</sub> através do aumento da eficiência energética por permitir uma produção de energia mais limpa à semelhança de Brock e Taylor (2005), Chen e Chen (2011), Sohag et al. (2015) e Alshehry e Belloumi (2015). Nem tão pouco conseguimos retirar conclusões estritas sobre a hipótese levantada por Álvarez-Herranz et al. (2017a) em que consideram que a inovação em energia acumula ao longo do tempo e apresentam evidência empírica em como a inovação em energia (despesa pública em I&D em energia) contribui para reduzir a intensidade energética e a poluição ambiental.



## 5. Conclusão

A fim de investigar a relação entre o VAB setorial e as emissões de CO<sub>2</sub> para Portugal, entre os anos de 1996 – 2013, este estudo examinou empiricamente a hipótese EKC em Portugal, considerando um painel de dados de 11 setores de atividade nacional. Além disso, apresentam-se vários testes para descobrir a existência de vários cenários relacionados com a forma de EKC, contando para isso com o impacto de diversos indicadores relacionados com a investigação e desenvolvimento; o pessoal que dedica a totalidade do seu tempo nesta área, por setores de atividade; e o consumo de energia elétrica – reconhecida como uma das principais variáveis relacionadas diretamente com a emissão de gases de efeito estufa.

De acordo, com nossos resultados empíricos, afirmamos que existe uma relação em forma de “N” entre o VAB e o CO<sub>2</sub> no modelo 2, respetivamente. Já no modelo 4 os resultados parecem indiciar que existe uma relação em forma de “U invertido” entre o VAB e o CO<sub>2</sub>.

Como grande conclusão, temos o facto de quase todos os setores de atividade apresentarem um comportamento significativo e positivo, logo indiciando que contribuem para o aumento do nível de emissões de CO<sub>2</sub>. É importante que, desta forma, sejam introduzidas medidas que tornem os setores menos poluentes. Uma política contínua e bem planeada deve ser introduzida pelas autoridades reguladoras/governos para que, no médio/longo prazo, no sentido ecológico, obtenhamos um comportamento decrescente no nível de emissões de CO<sub>2</sub> e Portugal seja assim, um dos países que, ambientalmente seja um exemplo a seguir.

As conclusões deste estudo evidenciam que as emissões de CO<sub>2</sub> não vão desaparecer automaticamente com o crescimento económico. Ao contrário, pode ser mais grave após um certo nível de crescimento. Por outro lado, verifica-se que as despesas de pesquisa e desenvolvimento e o consumo de energia elétrica são variáveis importantes para explicar as emissões de CO<sub>2</sub>. Mas, enquanto a primeira evidencia um impacto positivo na relação EKC não permitindo assim e para já uma diminuição dos níveis de emissões como desejado (o que depende da especificação do modelo considerada), a segunda mostra que estão a existir progressos claros na substituição de energias fósseis por fontes de energia renovável que estão a produzir o efeito desejado em termos de redução de emissões. De acordo com a literatura em curso, a inovação influencia as

emissões de CO<sub>2</sub> direta e indiretamente devido à sua estreita relação com o crescimento. Além disso, com base na relação significativa positiva entre o consumo de energia elétrica e as emissões de CO<sub>2</sub>, um processo energético mais ecológico deve ser encorajado pelo setor/Governo português.

Contrariamente, ao que a literatura mais recente aponta, nomeadamente Álvarez-Herranz et al. (2017a) não nos foi possível confirmar por completo o impacto desfasado que a inovação tem sobre a relação evidenciada por vários autores relativamente à hipótese EKC, o que pode ser explicado pelo facto de não estarmos a usar como variável a inovação afeta somente à energia por indisponibilidade de dados, quer a nível nacional, quer a nível setorial, deixando assim em aberto uma forte hipótese de estudo.

Para a elaboração deste trabalho foram encontrados diversos obstáculos. Numa primeira fase, a falta de mais dados disponíveis nas diversas bases de dados utilizadas constitui um ponto menos positivo, obrigando a que exista uma limitação de datas entre 1996-2013. Para além disso, como os dados foram retirados de bases de dados diferentes muitas das vezes é difícil delimitar o setor de atividade, isto é, incluir certos bens/serviços num setor e noutra base de dados isso já não acontecia, obrigando aqui a um trabalho mais personalizado dos mesmos. Também uma das limitações para a realização do mesmo prende-se com a dificuldade de arranjar dados, por exemplo, para o indicador de Patentes (como proxy de inovação), o que obrigou a utilizar outros indicadores, nomeadamente o total de pessoal a trabalhar em I&D e a própria I&D, total setorial, como as proxys ligadas à tecnologia e à inovação.

Para trabalhos futuros sugere-se que seja possível aumentar ainda mais a base de dados, permitindo aumentar a robustez dos resultados. Outra sugestão prende-se com a parte de analisar cada um dos setores pormenorizadamente e de modo individual, permitindo retirar mais conclusões acerca dos mesmos, em vez de utilizar dados em painel, no qual se perde esse efeito individual dos setores de atividade. Uma melhoria adicional passa por conseguir arranjar os valores dos dados aqui utilizados mas que digam respeito apenas à variável energia por setor, como a I&D por setor apenas aplicada à energia, e o número de trabalhadores afetos a I&D em energia por setor.

## Referências

- Abdallah, K.B., Belloumi, M. e De Wolf, D. (2013). Indicators for sustainable energy development: A multivariate cointegration and causality analysis from Tunisian road transport sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 34-43.
- ADENE (2012). Guia da eficiência energética. [http://www.adene.pt/sites/default/files/guiaee\\_v1310.pdf](http://www.adene.pt/sites/default/files/guiaee_v1310.pdf)
- Aghion, P., Hepburn, C., Teytelboym, A. e Zenghelis, D. (2014). Path dependence, innovation and the economics of climate change. Policy paper. Centre for Climate Change Economics and Policy Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment. Available at: [http://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/wp-content/uploads/2014/11/Aghion\\_et\\_al\\_policy\\_paper\\_Nov20141.pdf](http://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/wp-content/uploads/2014/11/Aghion_et_al_policy_paper_Nov20141.pdf)
- Alshehry, A.S. e Belloumi, M. (2015). Energy consumption, carbon dioxide emissions and economic growth: The case of Saudi Arabia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 237-247.
- Alshehry, A.S. e Belloumi, M. (2017). Study of the environmental Kuznets curve for transport carbon dioxide emissions in Saudi Arabia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 1339-1347.
- Álvarez-Herránz, A., Balsalobre, D., Cantos, J.M. e Shahbaz, M. (2017a). Energy Innovations-GHG Emissions Nexus: Fresh Empirical Evidence from OECD Countries. *Energy Policy*, 101, 90-100.
- Álvarez-Herranz, A., Balsalobre-Lorente, D., Shahbaz, M. e Cantos, J.M. (2017). Energy innovation and renewable energy consumption in the correction of air pollution levels. *Energy Policy*, 105, 386-397.
- Andreoni, J. e Levinson, A. (2001). The simple analytics of the environmental Kuznets curve, *Journal of Public Economics*, 80, 269–286.
- Ang, J.B. (2007). CO2 emissions, energy consumption, and output in France. *Energy Policy*, 35, 10, 4772-4778.
- Apergis, N. e Payne, J.E. (2015). Renewable Energy, Output, Carbon Dioxide Emissions, and Oil Prices: Evidence from South America. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 10, 3, 281–287.
- Ayres, R.U., e van den Bergh, J.C.J.M. (2005). A theory of economic growth with material/energy resources and dematerialization: Interaction of three growth mechanisms. *Ecological Economics*, 55, 1, 96-118.
- Balin, B.E. e Akan, H.D.M. (2015). EKC Hypothesis and the Effect of Innovation: a Panel Data Analysis. *Journal of Business Economics & Finance*, 4, 1, 81-91.
- Balsalobre, D., Álvarez, A. e Cantos, J.M. (2015). Public budgets for energy RD&D and the effects on energy intensity and pollution levels. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 7, 4881–4892.
- Baltagi, B.D. (2013). *Econometric Analysis of Panel Data*. 5<sup>th</sup> Edition, Wiley.
- Bhattarai, M. e Hammig, M. (2001). Institutions and the Environmental Kuznets Curve for Deforestation: A Crosscountry Analysis for Latin America, Africa and Asia. *World Development*, 29, 6, 995-1010.

- Bimonte, S. e Stabile, A. (2017). EKC and the income elasticity hypothesis Land for housing or land for future? *Ecological Indicators*, 73, 800-808.
- Birdsall, N. e Wheeler, D. (1993). Trade Policy and Industrial Pollution in Latin America: Where are the Pollution Havens? *The Journal of Environment & Development*, 2, 1, 137-149.
- Brock, W.A. e Taylor, M.S. (2005). Economic growth and the environment: a review of theory and empirics. In: Aghion, P., Durlauf, S.N. (Eds.), *Handbook of Economic Growth*, vol. 1B, pp. 1749–1821.
- Brock, W.A. e Taylor, M.S. (2010). The Green Solow model. *Journal of Economic Growth*, 15, 2, 127–153.
- Brown, S.P.A. e McDonough, I.K. (2016). Using the Environmental Kuznets Curve to evaluate energy policy: Some practical considerations. *Energy Policy*, 98, 453-458.
- Chen, Z.M. e Chen, G.Q. (2011). Embodied carbon dioxide emission at supra-national scale: A coalition analysis for G7, BRIC, and the rest of the world. *Energy Policy*, 39, 5, 2899-2909.
- Congregado, E., Feria-Gallardo, J., Golpe, A.A. e Iglesias, J. (2016). The environmental Kuznets curve and CO2 emissions in the USA: Is the relationship between GDP and CO2 emissions time varying? Evidence across economic sectors. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 18, 18407–18420.
- Coondoo, D. e Dinda, D. (2002). Causality between income and emission: a country group-specific econometric analysis. *Ecological Economics*, 40, 3, 351-367.
- Dasgupta, S., Laplante, B., Wang, H., and Wheeler, D. (2002). Confronting the Environmental Kuznets Curve. *The Journal of Economic Perspectives*, 16, 1, 147-168.
- Dinda, S. (2004). Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey. *Ecological Economics*, 49, 4, 431-455.
- Dogan, E. e Seker, F. (2016). Determinants of CO emissions in the European Union: The role of renewable and non-renewable energy. *Renewable Energy*, 94, 429-439.
- Dogan, E. e Aslan, A. (2017). Exploring the relationship among CO emissions, real GDP, energy consumption and tourism in the EU and candidate countries: Evidence from panel models robust to heterogeneity and cross-sectional dependence. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 239-245.
- Fujii, H. e Managi, S. (2013). Which industry is greener? An empirical study of nine industries in OECD countries. *Energy Policy*, 57, 381-388.
- Fujii, H. e Managi, S. (2016). Economic development and multiple air pollutant emissions from the industrial sector. *Environmental Science and Pollution Research International*, 23, 3, 2802-2812.
- Gill, A.R., Viswanathan, K.K. e Hassan, S. (2017). The Environmental Kuznets Curve (EKC) and the environmental problem of the day, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Available online 21 June 2017, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.247>.

- Grossman, G.M. e Krueger, A.B. (1995). Economic Growth and the Environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 110, 2, 353–377.
- Hamit-Haggar, M. (2012). Greenhouse gas emissions, energy consumption and economic growth: A panel cointegration analysis from Canadian industrial sector perspective. *Energy Economics*, 34, 1, 358-364.
- Katircioğlu, S.T. e Taşpınar, N. (2017). Testing the moderating role of financial development in an environmental Kuznets curve: Empirical evidence from Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 572-586.
- Komen, M.H.C., Gerking, S. e Folmer, H. (1997). Income and environmental R&D: empirical evidence from OECD countries. *Environment and Development Economics*, 2, 4, 505-515.
- Kopidou, D. e Diakoulaki, D. (2017). Decomposing industrial CO2 emissions of Southern European countries into production- and consumption-based driving factors. *Journal of Cleaner Production*, 1–10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.183>.
- Kuznets, S. (1955). Economic growth and income inequality. *The American Economic Review*, 45,1, 1-28.
- Li, F., Dong, S., Li, F. e Yang, L. (2016). Is there an inverted U-shaped curve? Empirical analysis of the Environmental Kuznets Curve in agrochemicals. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 10, 2, 276–287.
- Lima, F., Nunes, M.L., Cunha, J., e Lucena, A.F.P. (2017). Driving forces for aggregate energy consumption: A cross-country approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 1033-1050.
- Lorente, D.B. e Álvarez-Herranz, A. (2016). Economic growth and energy regulation in the environmental Kuznets curve. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 16, 16478–16494.
- Mazur, A., Phutkaradze, Z. e Phutkaradze, J. (2015). Economic Growth and Environmental Quality in the European Union Countries – Is there Evidence for the Environmental Kuznets Curve? *International Journal of Management and Economics*, 45, 1, 108–126.
- Mazzanti, M., Montini, A. e Zoboli, R. (2007). Environmental Kuznets Curves for GHGs and Air Pollutants in Italy. Evidence from Sector Environmental Accounts and Provincial Data. *Economia politica*, 3/2007, 369-406. doi: 10.1428/25818.
- Meadows, D., Randers, J., & Meadows, J. (2005). *The Limits to: The 30-Year Update*. Earthscan, London, UK. Reprinted 2006. ISBN-10: 1-84407-144-8.
- Moutinho, V., Varum, C. e Madaleno, M. (2017). How economic growth affects emissions? An investigation of the environmental Kuznets curve in Portuguese and Spanish economic activity sectors. *Energy Policy*, 106, 326-344.
- Müller-Fürstenberger, G. e Wagner, M. (2007). Exploring the environmental Kuznets hypothesis: Theoretical and econometric problems. *Ecological Economics*, 62, 3, 648-660.
- Narayan, P.K. e Narayan, S. (2010). Carbon dioxide emissions and economic growth: Panel data evidence from developing countries. *Energy Policy*, 38, 1, 661-666.

Özokcu, S. e Özdemir, Ö. (2017). Economic growth, energy, and environmental Kuznets curve. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 639-647.

Pablo-Romero, M.P., Cruz, L. e Barata, E. (2017). Testing the transport energy-environmental Kuznets curve hypothesis in the EU27 countries. *Energy Economics*, 62, 257–269.

Pal, D. e Mitra, S.K. (2017). The environmental Kuznets curve for carbon dioxide in India and China: Growth and pollution at crossroad. *Journal of Policy Modeling*, 39, 2, 371-385.

Panayotou, T. (1993). Empirical Test and Policy Analysis of Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development. World Employment Research Programme, Working Paper, International Labour Office, Geneva. Disponível em:

[http://www.scirp.org/\(S\(i43dyn45teexjx455qlt3d2q\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1345379](http://www.scirp.org/(S(i43dyn45teexjx455qlt3d2q))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1345379)

Piaggio, M., Padilla, E. e Román, C. (2017). The long-term relationship between CO 2 emissions and economic activity in a small open economy : Uruguay 1882 – 2010. *Energy Economics*, 65, 271–282.

Ren, S., Yuan, B., Ma, X. e Chen, X. (2014). International trade, FDI (foreign direct investment) and embodied CO2 emissions: A case study of Chinas industrial sectors. *China Economic Review*, 28, 123-134.

Robalino-López, A., Mena-Nieto, A., García-Ramos, J.-E. e Golpe, A.A. (2015). Studying the relationship between economic growth, CO2 emissions, and the environmental Kuznets curve in Venezuela (1980–2025). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 602-614.

Romer, P.M. (1990). Are Nonconvexities Important for Understanding Growth? *The American Economic Review*, 80, 2, 97-103.

Samargandi, N. (2017). Sector value addition, technology and CO emissions in Saudi Arabia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 868-877.

Scoreboard, E. I. (2017). European Innovation Scoreboard 2017. Available at: [http://ec.europa.eu/growth/industry/innovation/facts-figures/scoreboards\\_sl](http://ec.europa.eu/growth/industry/innovation/facts-figures/scoreboards_sl)

Selden, T.M. e Song, D. (1995). Neoclassical Growth, the J Curve for Abatement, and the Inverted U Curve for Pollution. *Journal of Environmental Economics and Management*, 29, 2, 162-168.

Sohag, K., Begum, R.A. e Abdullah, S.M.S. (2015). Dynamic impact of household consumption on its CO2 emissions in Malaysia. *Environment, Development and Sustainability*, 17, 5, 1031–1043.

Solarin, S.A., Al-Mulali, U., Musah, I. e Ozturk, I. (2017). Investigating the pollution haven hypothesis in Ghana: An empirical investigation. *Energy*, 124, 706-719.

Suri, V. e Chapman, D. (1998). Economic growth, trade and energy: implications for the environmental Kuznets curve. *Ecological Economics*, 25, 2, 195-208.

Talbi, B. (2017). CO2 emissions reduction in road transport sector in Tunisia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 232-238.

Vukina, T., Beghin, J.C. e Solakoglu, E.G. (1999). Transition to Markets and the Environment: Effects of the Change in the Composition of Manufacturing Output. CARD Working Papers, 235. [http://lib.dr.iastate.edu/card\\_workingpapers/235](http://lib.dr.iastate.edu/card_workingpapers/235).

Walters, K. (2015). Enhancement of research and development in Portugal: stimulation for innovation and the economy. Perspectives on Business and Economics, 33, Paper 10, 93-103. <http://preserve.lehigh.edu/perspectives-v33/10>.

Wang, Y., Zhang, C., Lu, A., Li, L., He, Y., ToJo, J. e Zhu, X. (2017). A disaggregated analysis of the environmental Kuznets curve for industrial CO2 emissions in China. Applied Energy, 190, 172-180.

WTTC (2017). World Travel and Tourism Council. Travel & Tourism: Economic impact 2017, Portugal. Available at: <https://www.wttc.org/-/media/files/reports/economic-impact-research/countries-2017/portugal2017.pdf>

Xu, B. e Lin, B. (2015). Factors affecting carbon dioxide (CO) emissions in China's transport sector: a dynamic nonparametric additive regression model. Journal of Cleaner Production, 101, 311-322.